

Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem

Oswaldo Borges PINTO-JUNIOR¹, Luciana SANCHES², Andrea Carla DALMOLIN³, José Souza de NOGUEIRA⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi (a) estimar o efluxo de CO₂ do solo em uma Floresta de Transição Amazônica Cerrado e em uma área de Pastagem localizadas no norte do Mato Grosso, e (b) verificar a influência da umidade e temperatura do solo, e serrapilheira acumulada no efluxo de CO₂. As medições foram realizadas com aparelho de absorção de CO₂ por infravermelho (EGM/WMA-2 PP System, Hitchin Hertz, UK) de maio/2005 a abril/2006. Os valores médios do efluxo de CO₂ do solo na Floresta e na área de Pastagem foram de 5,45 e 4,95 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente. Uma resposta satisfatória do efluxo de CO₂ do solo e a serrapilheira acumulada, ocorreu somente na estação seca. Na estação seca o comportamento do efluxo de CO₂ do solo foi semelhante na Floresta de Transição Amazônica Cerrado e na área de Pastagem, e na estação úmida os ecossistemas apresentaram comportamentos distintos, e o efluxo de CO₂ do solo na área de Pastagem foi superior ao na Floresta de Transição. É essencial que se avalie a influência de outros fatores no efluxo de CO₂ em ecossistemas localizados em um mesmo ecótono para a obtenção de novas respostas que contribuam para esclarecer as dúvidas da emissão de CO₂ em nível mundial.

PALAVRAS-CHAVE: Respiração do solo, umidade do solo, temperatura do solo.

Soil efflux CO₂ in mature transitional tropical Forest Amazonia and pasture area

ABSTRACT

The objective of this paper was (a) to estimate the CO₂ soil efflux in a Mature Transitional Tropical Forest Amazonia and a area of Pasture in the north of the Mato Grosso; (b) to analyzer the influence of the soil humidity and temperature, and accumulated litter. The measurements had been carried through with device of CO₂ absorption for infra-red ray (EGM/WMA-2 PP System, Hitchin Hertz, UK) in may/2005 to april/2006. The average values of the CO₂ efflux of the ground in the Forest and the area of 5,45 and 4,94 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ Pasture $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. In the dry season the behavior of the CO₂ efflux of the ground was similar in the Mature Transitional Tropical Forest Amazonian and in the area of Pasture, and in the wet season the ecosystems had presented distinct behaviors, and the CO₂ efflux of the ground in the area of Pasture was superior to the one in the Transitional Forest. It is essential that if it evaluates the influence of other factors in the CO₂ efflux in ecosystems located in one same ecótono for the attainment of new answers that contribution to clarify doubt atmospheric CO₂ emission to them the worldwide level.

KEYWORDS: soil respiration, soil humidity, soil temperature.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mail: osvaldo.borges@gmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mail: lsanches@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mail: andreacarlad@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. E-mail: nogueira@ufmt.br

INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são essenciais ao ciclo do carbono global porque elas estocam 20–25% do carbono terrestre global (Bernoux *et al.*, 2002). Vários debates sobre se as florestas tropicais emitem ou sequestram o carbono atmosférico tem aumentado o interesse nos componentes do solo e seus ciclos (Clark, 2004), ressaltando a complexa variedade de processos físicos, químicos e bióticos, atuando em direções ou intensidades diferentes.

A importância em entender os fatores que controlam o efluxo de CO₂, aumenta com a intensidade das variações climáticas, como as de precipitação e temperatura, que influenciam na produtividade líquida do ecossistema (NEP), ou seja, a troca de CO₂ entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera (Raich & Schlesinger, 1992; Davidson *et al.*, 1998). Cerca de 76% a 84% do fluxo de CO₂ total (NEP) na floresta amazônica pode estar vindo do solo, o que representa globalmente uma grande fração para atmosfera, cujas maiores contribuições provêm de florestas tropicais e subtropicais (Meir *et al.*, 1996; Chambers *et al.*, 2000; Raich *et al.*, 2002).

Para isso se faz necessárias mensurações em ecossistemas distintos, como a Floresta de Transição Amazônica Cerrado e Pastagem. Com estas medidas realizadas serão feitas considerações de como ecossistemas tão heterogêneos se comportam na emissão de CO₂ para atmosfera.

Um desses entendimentos é o monitoramento da respiração do solo e outros parâmetros que possam ter correlação com os mesmos, de modo a quantificá-los e relacioná-los. Assim pode-se verificar quais as interações físicas e químicas entre o solo, vegetação e atmosfera, e suas conseqüências para o clima do globo quando se substitui as florestas por pastagens e culturas agrícolas. A quantificação do efluxo de carbono do solo diretamente no campo fornece a real emissão de CO₂ do solo da floresta e esta informação pode ser utilizada, por exemplo, para cálculos de sequestro carbono do ecossistema.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a variação sazonal do efluxo de CO₂ do solo, em função da temperatura e umidade do solo em uma floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de Pastagem.

MATERIAL E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado no norte de Mato Grosso em duas áreas: floresta tropical de Transição Amazônica Cerrado e área de Pastagem (Figura 1). O experimento foi realizado entre maio de 2005 a abril de 2006.

A área da Floresta de Transição Amazônica Cerrado localiza-se na Fazenda Maracai, à aproximadamente 50 km



Figura 1 - Localização da área de estudo.

NE da cidade de Sinop, norte de Mato Grosso, onde está instalada uma torre micrometeorológica (11°24'43,4"S: 55°19'25,7"O). Esta é uma região de transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado, com sazonalidade característica. O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (Vianello & Alves, 1991), com pequena variação entre estações, sendo de junho-setembro a estação seca, de outubro-novembro e de abril-maio, um período de transição, entre seca-úmida e úmida-seca, respectivamente, e uma estação úmida de dezembro-março. A precipitação média anual é de 2.200 mm, com médias de temperaturas em torno de 25°C.

O solo é um Neossolo Quartzarênico órtico típico a moderado álico, com profundidade de 50 cm e textura arenosa com 76,2% de areia, 6,7% de silte e 17,1% de argila. Os solos pertencentes a essa classe são bastante arenosos; tem baixa concentração de nutrientes; alta porosidade e drenam rapidamente a saturação provocada por fortes chuvas (Priante Filho *et al.*, 2004).

A área de Pastagem é do tipo *Brachiaria sp.*, localizada na Fazenda Loanda, as margens da BR-163, aproximadamente 45 km de Sinop-MT, norte de Mato Grosso, onde está instalada uma torre micrometeorológica (11°34'55,0"S: 55°17'54,1"O) (Figura 1). Esta área está localizada dentro do ecótono da Floresta de Transição Amazônica Cerrado, apresentando as mesmas características climatológicas da área de floresta. O solo é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura arenosa com 72,9% de areia, 8,3% de silte e 18,8% de argila (Priante Filho *et al.*, 2004).

MEDIÇÕES DE EFLUXO DE CO₂ DO SOLO

O efluxo de CO₂ do solo foi medido com o aparelho de absorção de infravermelho que calcula as emissões de CO₂ provenientes do solo, o EGM-1/WMA-2 (PP System, Hitchin Hertz, UK), junto com sua câmara de retenção de CO₂ com

1170 cm³, cobrindo uma área no solo de 78,5 cm². Colocando uma câmara de circuito fechado de volume conhecido (1170cm³) sobre o solo e medindo a razão de aumento da concentração de CO₂ dentro desta câmara, quantificou-se o fluxo de CO₂ do solo (Equação 1).

$$R_s = \frac{DC}{DT} \times \frac{V}{A} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que, R_s é a razão de fluxo de CO₂ do solo (fluxo de CO₂/unidade de área/unidade de tempo), DT é o tempo decorrido de medida, DC é a diferença de concentração de CO₂ no tempo decorrido, V é o volume total do sistema e A é a área do solo exposto à medida.

O equipamento EGM-1/WMA-2 expressa a R_s (respiração do solo) em g m⁻²h⁻¹. Entretanto, a unidade mais comumente utilizada para medidas de fluxo de CO₂ do solo é $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, multiplicou-se o valor de R_s do aparelho pelo fator de conversão 6,312.

ESTIMATIVA DA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO

Para determinação da umidade do solo usou-se o Método Gravimétrico em que as amostras foram coletadas a 5 cm de profundidade no momento em que eram realizadas as medidas de efluxo de CO₂ do solo, nos respectivos 20 pontos de coleta nas áreas da Floresta de Transição e na Pastagem.

A temperatura do solo foi verificada a uma profundidade de 5 cm utilizando termômetro digital (Marte Mod. AL-200C), simultaneamente, com as medidas de efluxo de CO₂ do solo nos sítios experimentais.

ESTIMATIVA DE SERRAPILHEIRA ACUMULADA

Para a determinação da serrapilheira acumulada no solo, foi utilizado um quadrante de molde vazado, com dimensão de 0,25 x 0,25 m. As amostras de serrapilheira foram recolhidas mensalmente, e encaminhadas ao laboratório para lavagem com água destilada, sendo separadas em folhas, galhos, flores e frutos, e encaminhadas para secagem em estufa à 65-70 °C por 72 horas. Posteriormente, foram realizadas pesagens em balança digital (Marte modelo LC1).

A serrapilheira foi coletada na Floresta de Transição Amazônica Cerrado, entre os meses de maio de 2005 a abril de 2006 em 20 pontos de coleta.

O valor médio da massa seca de serrapilheira acumulada nesses pontos de coleta foi utilizado para analisar a relação entre o efluxo de CO₂ do solo e a serrapilheira acumulada no solo.

ESTIMATIVA DA ÁREA BASAL

Para a estimativa da área basal, considerou-se um diâmetro arbóreo superior a 10 cm (DAP>1,30 m). Foram selecionados em 20 pontos aleatoriamente distribuídos na floresta. Com

o uso de uma fita métrica o diâmetro das árvores foram medidas.

As medidas de área basal foram realizadas nos dias 11 e 12 de julho de 2006. Procurou-se com essas medidas estabelecer se há uma relação entre o efluxo de CO₂ do solo da Floresta de Transição Amazônica Cerrado e a área basal desta área.

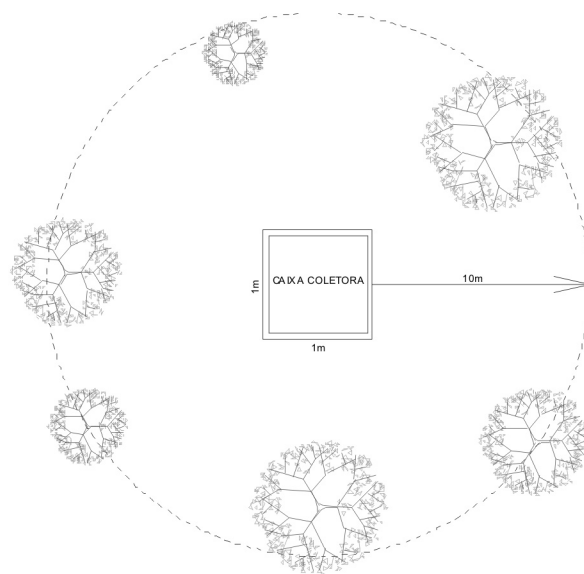


Figura 2 - Ilustração da metodologia adotada para estimativa de área basal nos pontos de coleta de efluxo de CO₂ do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EFLUXO DE CO₂ DO SOLO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNICA CERRADO E EM ÁREA DE PASTAGEM

Para a Floresta de Transição Amazônica Cerrado, a média do efluxo de CO₂ do solo de maio de 2005 a abril de 2006 foi $5,48 \pm 0,66 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 3). O coeficiente de variação foi 12%. Valentini *et al.* (2008), em seu estudo na Floresta de Transição Amazônica, obteve a média de efluxo de CO₂ do solo de $7,50 \pm 0,51 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e o coeficiente de variação obtido foi 32%, valor superior ao estimado no presente trabalho. A discordância entre o presente trabalho e o realizado por Valentini *et al.* (2008), provavelmente se deve ao fato de que em os autores utilizaram dois equipamentos de medidas de efluxo de CO₂ do solo (LI-COR e EGM), enquanto, que o presente estudo usou somente o EGM para medição do efluxo de CO₂ do solo e pode ser uma resposta da interferência de fatores como temperatura do ar, temperatura do solo, e umidade do solo e do ar.

Na Pastagem, o efluxo médio de CO₂ de junho de 2005 a abril de 2006 foi $4,95 \pm 1,59 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ e o coeficiente de variação foi de 32% (Figura 3).

Na floresta de transição Amazônia Cerrado, houve variação temporal no efluxo de CO₂ do solo, com os menores efluxos registrados entre julho e agosto (período seco) e os maiores

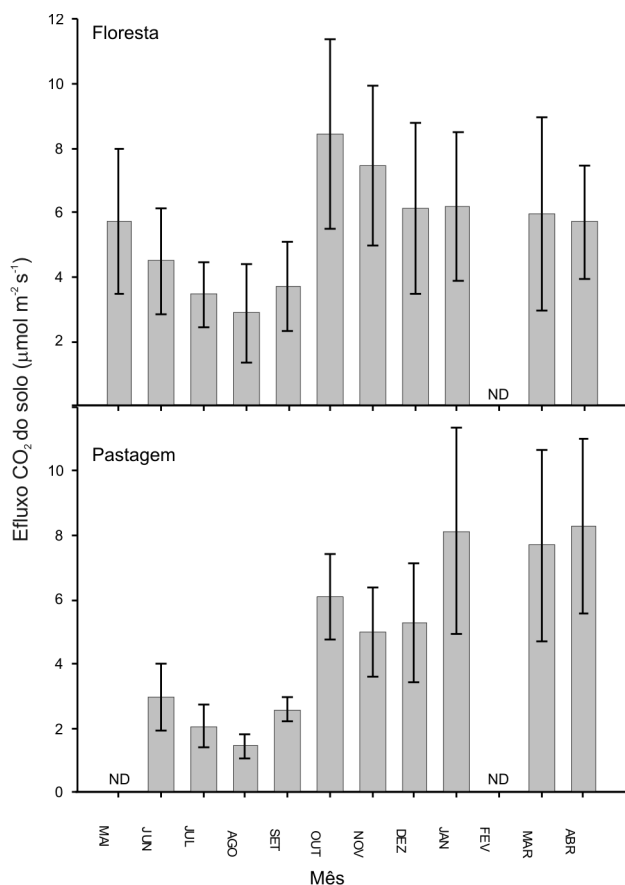


Figura 3 - Efluxo de CO₂ do solo (média±DP) na Floresta de Transição Amazônica Cerrado e na área de Pastagem. Observação: não houve medição de efluxo de CO₂ do solo nos meses de maio/2005 e fevereiro/2006 na Pastagem.

efluxos entre outubro e novembro (período de transição seca-chuvosa). A média mensal mínima de efluxo de CO₂ foi 2,88 µmolm⁻²s⁻¹ em agosto, conseqüência da baixa umidade devido a estação seca da região e a média mensal máxima foi 8,45 µmolm⁻²s⁻¹, em outubro, devido ao início da estação chuvosa e conseqüente aumento da umidade, proporcionando incremento na atividade microbiana do solo e conseqüente aumento da emissão de CO₂ do solo. Os valores de efluxo de CO₂ do solo estão apresentados na Tabela 1.

A média anual do efluxo de CO₂ do solo da Floresta de Transição foi maior que a média estimada em ecossistemas Amazônicos, por exemplo, Chambers *et al.* (2002) obtiveram um efluxo de 3,80 µmolm⁻²s⁻¹, Nunes (2003) que obteve 4,25 µmolm⁻²s⁻¹; ambos os autores estimaram o efluxo de CO₂ do solo por meio de uma câmara estática IRGA. Entretanto, a média anual foi concordante ao efluxo de CO₂ do solo obtido

Tabela 1 - Média estacional do efluxo de CO₂ do solo (±DP) na Floresta de Transição Amazônica Cerrado e em área de Pastagem.

Estação	Efluxo de CO ₂ do solo (média ±DP; µmolm ⁻² s ⁻¹)	
	Floresta de transição	Pastagem
Úmida	6,45 ± 2,61	6,32 ± 2,35
Úmida-seca	5,32 ± 1,88	5,62 ± 1,87
Seca	3,62 ± 1,39	2,16 ± 0,70
Seca-úmida	4,56 ± 1,04	6,55 ± 2,22

por Meir *et al.* (1996) (5,50 µmolm⁻²s⁻¹) que utilizaram similar equipamento de medição de efluxo de CO₂ que os autores mencionados acima. Isto pode ser explicado pela diferenciação no tipo de analisador de gás por infravermelho (IRGA) e do tipo de câmara que cada estudo utilizou, e este fator exerce grande influência sobre as estimativas do efluxo de CO₂. Além disso, os estudos realizados em locais e anos diferentes propiciam condições espaço-temporais suficientemente peculiares, capazes de gerar medidas distintas, uma vez que, para o efluxo de CO₂, pequenas distâncias e fatores microclimáticos são suficientes para causar grandes variações nos fluxos medidos e a metodologia aplicada em cada estudo para medição também foi distinta.

Na Pastagem, as médias de efluxo de CO₂ apresentaram valor mínimo de 1,44 ± 0,38 µmolm⁻²s⁻¹ em agosto (estação seca), e máximo de 8,27 ± 2,70 µmolm⁻²s⁻¹ em abril (transição chuvosa-seca), acompanhando o regime de chuvas da região, nota-se que agosto, o período mais seco do ano, o efluxo de CO₂ do solo atingiu o menor valor, possivelmente porque a atividade microbiota do solo se encontra nula nesse período, devido à baixa umidade no solo. No início das primeiras chuvas (setembro) o efluxo de CO₂ do solo aumentou, devido ao incremento da atividade microbiota do solo, resultados semelhantes foram obtidos por Nunes (2003) que obteve maiores valores de efluxo de CO₂ no solo em janeiro em área de Pastagem.

Comparando-se os resultados alcançados na Floresta de Transição Amazônica Cerrado com os de outros sítios experimentais que usaram equipamentos de medição similares deste estudo, as médias de efluxo de CO₂ do solo foram inferiores, contudo analisando as condições dos outros sítios, os resultados tornam-se coerentes, pois as florestas em Manaus e Rondônia possuem biomassa superior à encontrada na Floresta de Transição Amazônica Cerrado, além disso, as condições climáticas são diferenciadas, especialmente o regime pluviométrico e o déficit hídrico.

As médias do efluxo de CO₂ do solo na Floresta de Transição foram concordantes ao verificado por Freitas (2001) em Pastagem na região Amazônica, que estimou o efluxo anual de CO₂ do solo por meio de um aparelho EGM de 4,20 ± 1,6 µmolm⁻²s⁻¹ e Varella *et al.* (2004) que obtiveram em uma Pastagem no Cerrado nas proximidades de Brasília, uma

média anual do efluxo de CO₂ do solo por meio de método de estimativa química de 4,00 μmolm⁻²s⁻¹.

É de conhecimento que os processos mecânicos, ou seja, o aumento do efluxo depois de uma chuva fora de época resulta no preenchimento dos poros do solo que estavam secos, ocasionando a expulsão do CO₂ acumulado nos

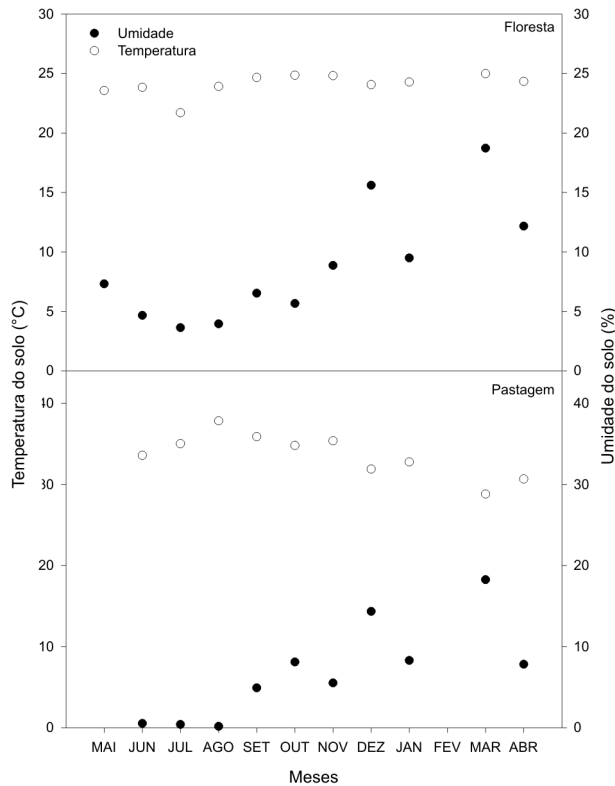


Figura 4 - Umidade e temperatura do solo (média±DP) na Floresta de Transição Amazônia Cerrado e área de Pastagem. Observação: Não houve medição no mês de fevereiro.

espaços, aumentando o efluxo de CO₂ instantaneamente, como acontece nas primeiras chuvas, onde o efluxo de CO₂ na pastagem aumentou de 2,59 ± 0,37 μmolm⁻²s⁻¹ (setembro) para 6,08 ± 1,35 μmolm⁻²s⁻¹ (outubro) observado também no trabalho de Nunes *et al.* (2003)

INFLUÊNCIA DA UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO NO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNICA CERRADO

Na região Amazônica, a sazonalidade é demarcada pelo regime de precipitação pluvial (Sioli, 1991) com variação entre os extremos dos meses de maior precipitação (dezembro a março) e os meses de menor precipitação (maio a setembro), também ocorre uma mudança nos processos e ciclos dentro da floresta, entre estes, destacam-se as alterações nas características

químicas, físicas e biológicas do solo (Tiwari, 1987; Primavesi, 1999).

Na floresta de transição Amazônia Cerrado, a redução na média do efluxo de CO₂ na estação chuvosa indicou o efeito do preenchimento dos poros e redução da atividade aeróbica. Com a chegada da época seca e conseqüente escoamento da água, as condições se tornam favoráveis à atividade aeróbica do solo, pois a umidade do solo seguiu o regime de chuvas da região, sendo que a umidade máxima foi 22,7% em março (mês chuvoso) e mínima 2,5% em julho (mês seco) (Figura 4).

Nesse sentido, foi detectado o efeito de umidade sobre o efluxo de CO₂ do solo. Esse fato está de acordo com o observado por La Scala Jr *et al.* (2000) e Yim *et al.* (2002). Diversos estudos demonstram a grande influência da umidade na emissão de gases do solo sendo um dos fatores controladores da quantidade de efluxo de CO₂ do solo (Howard & Howard, 1993; Ball & Drake, 1998; Sotta, 1998; Mielnick & Dugas, 2000; Chambers *et al.*, 2002; Vanhala, 2002 e Kang *et al.*, 2003).

Houve uma correlação fraca entre efluxo de CO₂ do solo e a umidade do solo na Floresta de Transição para uma regressão polinomial $y = -0,04x^2 + 0,89x + 1,13$, com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,34$, Valentini *et al.* (2008) encontrou uma relação polinomial entre o efluxo de CO₂ do solo e a umidade do solo, com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,75$. Os coeficientes de determinação diferentes nos dois trabalhos se deve ao fato de que no realizado por Valentini *et al.* (2008), foi utilizada metodologia diferente para estimar a umidade do solo, sendo empregado o método de Reflectometria por Domínio do Tempo (TDR), desse modo, contrastando com o presente estudo que usou o método gravimétrico. Com correlação fraca, os resultados relataram que com o aumento da umidade volumétrica, ocorreu redução do efluxo de CO₂ do solo, nas estações seca e na chuvosa.

A temperatura média anual do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado foi 24,1 ± 0,44°C variando de 21,7°C em julho à 24,9°C em outubro (Figura 4). As temperaturas não apresentaram grandes variações entre os meses, com exceção de julho em que a temperatura registrou o valor mínimo, devido ao fato de que a medida foi tomada em horário diferente das demais, em torno de 8h da manhã, enquanto que as demais medidas foram obtidas entre 10h e 16h. Trabalhos proposto por Nunes (2003) e Valentini *et al.* (2008) mencionaram que a amplitude térmica foi inferior a 1°C, assim como no presente estudo onde foi observado que a amplitude térmica, com exceção de julho, que foi inferior a 1°C.

A resposta da temperatura do solo sobre o efluxo de CO₂ do solo teve uma correlação fraca ($R^2 = 0,31$) na Floresta de Transição, isto pode ser explicado pela pequena variabilidade nas medidas de temperatura do solo ao longo do estudo.

Esperava-se que houvesse coeficiente de determinação mais significativo, como comenta a literatura. Parece que o baixo coeficiente de determinação é característico da região, visto que no estudo realizado por Valentini *et al.* (2008), os autores obtiveram um coeficiente de determinação de 0,20 para uma regressão linear e de 0,47 para uma regressão exponencial. Correlação semelhante ao presente estudo foi relatada nos trabalhos de Callegari-Jaques (2003), em que o autor obteve um coeficiente de 0,40.

Na Pastagem, a umidade do solo indica o início da estação chuvosa em setembro, estendendo-se até março, e a estação seca tem início em junho até agosto. A umidade teve máximo de 15,62% em março (mês chuvoso) e mínimo de 0,83% em agosto (mês seco) (Figura 4). A umidade mesmo em áreas antropizadas como acontece na pastagem, tem influência e atua como fator controlador da quantidade de efluxo CO₂ do solo, sendo que o coeficiente de determinação encontrado foi de 0,53 para regressão linear entre a umidade e o efluxo de CO₂ do solo, indicando uma correlação fraca. Nunes (2003), em estudos realizados em Juruena – MT obteve coeficiente de 0,34; para regressão linear o autor comentou ainda, que a combinação dos fatores temperatura do solo e umidade do solo podem ter muito mais influência nas taxas de efluxo do que cada um desses fatores isolados.

Houve uma correlação moderada entre as médias mensais dos parâmetros umidade do solo e efluxo de CO₂ do solo. Na área de pastagem, no período a temperatura média anual do solo foi de 33,7 ± 1,9°C variando de 28,8°C em março à 37,8 ± 2,6°C em agosto (Figura 4). A temperatura do solo na pastagem foi superior a da floresta devido a cobertura vegetal que desempenha um regulador térmico. Na floresta o solo recebe menor radiação solar e conseqüentemente, a temperatura do ar no interior do dossel e do solo são menores que na pastagem.

A relação entre temperatura e efluxo de CO₂ apresentou boa correlação (R²=0,61), havendo uma tendência de aumento do efluxo de CO₂ do solo com a diminuição da temperatura, ou seja, inversamente proporcionais. Este padrão também foi observado nos trabalhos realizados por Freitas (2001) e Nunes (2003).

COMPARAÇÃO DO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNICA CERRADO E NA ÁREA DE PASTAGEM

A Floresta de Transição Amazônica Cerrado apresentou maior média anual de efluxo de CO₂, que a área de Pastagem (Tabela 1). Entre junho a dezembro de 2005, houve maior emissão de CO₂ do solo pela Floresta de Transição, e de janeiro de 2006 a abril de 2006, a Pastagem passou a emitir uma maior quantidade de CO₂ do solo que a floresta (Figura 5). Essa variação no efluxo de CO₂ do solo se deve ao fato de que o houve um crescimento vegetativo na pastagem maior

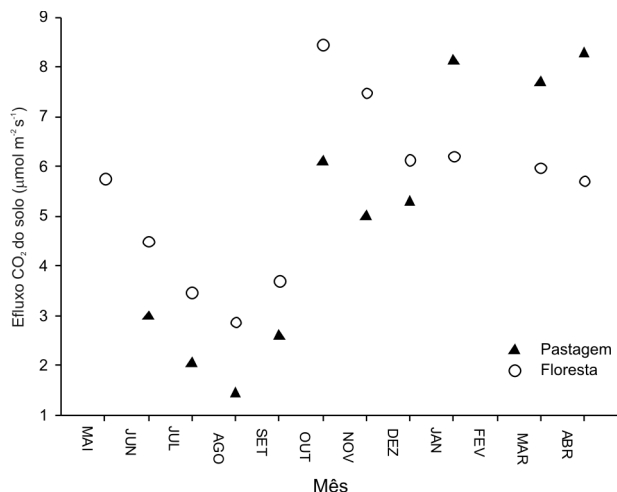


Figura 5 - Médias do efluxo de CO₂ do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado e na área de Pastagem. Observação: Não houve medição no mês de fevereiro

que na Floresta de Transição Amazônica Cerrado, no início das chuvas, o que contribui para o aumento do efluxo de CO₂ na pastagem logo nas primeiras chuvas, além da diversidade de solos, e vegetação, umidade e temperatura do solo em cada local, o que contribui para as diferentes emissões do efluxo de CO₂ do solo.

A biomassa vegetal na pastagem diminui na estação seca e, conseqüentemente, redução da emissão de CO₂ do solo. Isto tende a se inverter quando o regime de chuvas torna-se maior, nos meses de dezembro a março, onde se observou maior emissão de efluxo de CO₂, quando comparada a Floresta de Transição Amazônica Cerrado.

Aplicando um teste de médias para dados pareados, com um nível de confiança de 95%, os resultados demonstraram que os dados de efluxo de CO₂ da Floresta e da Pastagem não apresentaram diferença estatística. Estes dados são concordantes quando comparamos os aspectos físicos do solo das duas áreas que são fisicamente semelhantes, ou seja, o tipo de solo não pode ser considerado como o fator que explique a diferença nas emissões de CO₂ nos diferentes períodos do estudo, é preciso considerar a biota do solo que influencia no efluxo de CO₂ do solo, além de outros fatores externos como o tipo de espécies vegetais presentes em cada ecossistema.

Salimon (2003) relatou em seus estudos que a pastagem apresentou em média, maiores efluxos de CO₂ do solo para atmosfera, quando comparadas às florestas em todos os meses amostrados. Resultados similares foram observados por Feil *et al.* (1995) e Fernandes *et al.* (2002), em que pastagens apresentaram maior efluxos que florestas na Amazônia Sul-Occidental. Mas, este não é um fator preponderante, para Davidson *et al.* (2000), nos trabalhos realizados no leste do Pará, a floresta apresentou efluxos maiores que as pastagens.

As diferenças ocorridas entre as duas áreas de estudos, a Amazônia Sul-Occidental e a Amazônia Oriental, pode estar ligado à duração da seca (que é mais longa no Pará), levando à maior diminuição da biomassa vegetal em pastagens na Amazônia Oriental, e, portanto uma maior diminuição no efluxo de CO₂.

Esta diferença que também é observada no presente estudo pode sim estar relacionada ao regime de chuvas que na região se assemelha a região sul do Pará.

EFLUXO DE CO₂ E SERRAPILHEIRA ACUMULADA NA FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNICA CERRADO

A serrapilheira acumulada variou de 0,20 ± 0,08 (junho) a 0,43 ± 0,28 t ha⁻¹mês⁻¹ (agosto) (Tabela 2) e apresentou um total de serrapilheira acumulada de 3,55 t ha⁻¹ano⁻¹. Dentre os componentes principais da serrapilheira acumulada, as folhas corresponderam por 73%, os galhos 26% e as flores e frutos com 1%. Para Zimmermann *et al.* (2002), as folhas são o componente principal da serrapilheira, e sua fração

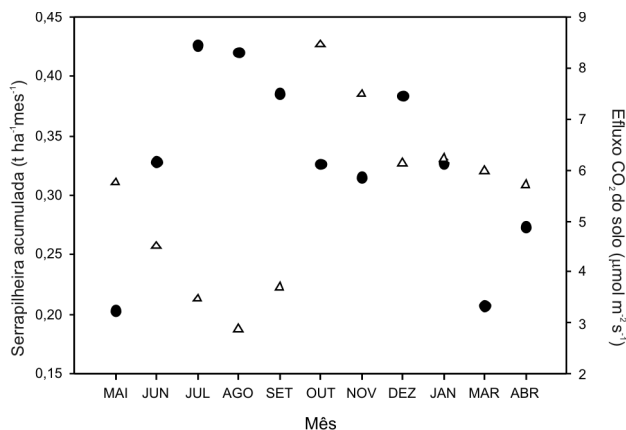


Figura 6 - Variação temporal do efluxo de CO₂ do solo e da serrapilheira acumulada na Floresta de Transição Amazônia Cerrado.

depende principalmente do cultivo formado, estrutura do local e idade das árvores.

Houve aumento na quantidade de serrapilheira nos meses de seca. Isto se deve ao fato de que as plantas perdem suas folhas no período seco, estratégia usada para evitar a perda de água. Quando houve aumento no estoque de serrapilheira acumulada o efluxo diminuiu, possivelmente devido ao fato de que neste momento a umidade presente foi menor, impossibilitando qualquer atividade microbiana e, conseqüentemente diminuindo o efluxo de CO₂ do solo. A partir de setembro quando houve a primeira chuva, verificou-se o aumento do efluxo de CO₂, indicando como comentando acima, uma atividade microbiana dos organismos sobre a matéria orgânica no solo.

A Figura 6 apresenta o efluxo de CO₂ do solo e a serrapilheira acumulada, em que as duas variáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quando houve o aumento do efluxo de CO₂ houve uma diminuição de serrapilheira. No

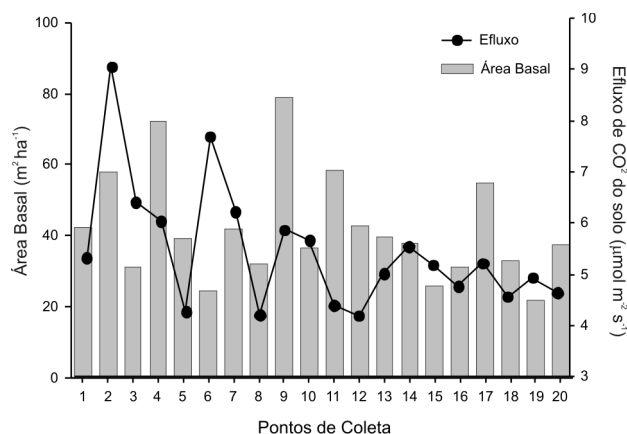


Figura 7 - Área basal (média ± DP) dos pontos de coleta do efluxo de CO₂ do solo.

Tabela 2 - Frações de serrapilheira acumulada (t ha⁻¹mês⁻¹ ± DP) durante junho/2005 à abril/2006.

Mês/Ano	Serrapilheira acumulada (t ha ⁻¹ mês ⁻¹ ± DP)			
	Folhas	Galhos	Miscelânea (flores + frutos)	Total
Junho/2005	0,16 ± 0,05	0,04 ± 0,03	0,00 ± 0,00	0,20 ± 0,08
Julho/2005	0,25 ± 0,09	0,08 ± 0,07	0,01 ± 0,02	0,33 ± 0,18
Agosto/2005	0,28 ± 0,12	0,15 ± 0,15	0,00 ± 0,01	0,43 ± 0,28
Setembro/2005	0,32 ± 0,10	0,10 ± 0,07	0,00 ± 0,01	0,42 ± 0,18
Outubro/2005	0,24 ± 0,09	0,14 ± 0,20	0,01 ± 0,02	0,39 ± 0,31
Novembro/2005	0,25 ± 0,12	0,07 ± 0,12	0,01 ± 0,03	0,33 ± 0,27
Dezembro/2005	0,25 ± 0,09	0,06 ± 0,07	0,00 ± 0,01	0,32 ± 0,18
Janeiro/2006	0,30 ± 0,10	0,08 ± 0,06	0,01 ± 0,02	0,38 ± 0,19
Março/2006	0,16 ± 0,06	0,04 ± 0,03	0,01 ± 0,03	0,21 ± 0,13
Abril/2006	0,20 ± 0,10	0,07 ± 0,09	0,00 ± 0,01	0,27 ± 0,20

geral, houve correlação positiva ($R^2=0,24$), porém fraca, entre o efluxo e a serrapilheira provavelmente porque o aumento de serrapilheira teve contibuição para o aumento ou diminuição do efluxo de CO₂ no solo.

Nos meses de seca, houve uma correlação muito forte ($R^2=0,95$) entre o efluxo de CO₂ e a serrapilheira acumulada, contrariando a correlação fraca obtida na estação seca.

A grande heterogeneidade espacial do solo cria condições microclimáticas bastante diferentes a curtas distâncias; isto implica em grande variação na decomposição da serrapilheira e, conseqüentemente, no efluxo de CO₂ do solo (Yoda & Kira 1982; Luizão & Schubart 1987). Fang *et al.* (2001) estimaram que 64% da variação espacial do efluxo deve-se à respiração das raízes finas (sendo que quase 70% desta é devido a associação com o solo mineral) e 36% da respiração dos microorganismos na camada superficial, indicando que estes três componentes são importantes para o efluxo de CO₂ do solo.

A INFLUÊNCIA DA ÁREA BASAL PRÓXIMA AOS PONTOS DE COLETA DO EFLUXO DE CO₂ DO SOLO

Com o objetivo de avaliar a influência da área basal circunvizinha aos pontos de coleta de efluxo de CO₂ do solo nos dias 11 e 12 de junho, foi realizada a medição dos perímetros das árvores dos pontos de coleta, perfazendo uma área de 314,15 m² em cada caixa, levando em conta árvores o DAP > 1,30 m (diâmetro > 10 cm).

A média do efluxo de CO₂ do solo encontrado nas caixas coletoras foi de $5,46 \pm 1,22 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ de CO₂, a média da área basal foi de $41,96 \pm 15,31 \text{ m}^2\text{ha}^{-1}$. A distribuição do efluxo de CO₂ do solo não seguiu uma distribuição padrão, assim como as árvores de grande porte que estão aleatoriamente distribuídas. O diâmetro das árvores variou de 62,79 cm à 90,31 cm e as áreas basais variaram entre 21,79 m²ha⁻¹ e 78,82 m²ha⁻¹ (Figura 7).

Por meio de uma regressão linear simples, verificou-se uma correlação fraca ($R^2=0,03$), indicando que a área basal não descreveu a variação espacial do efluxo de CO₂ do solo na floresta, provavelmente porque há variação espacial da composição foliar da serrapilheira. No entanto, para Araújo *et al.* (1996), em seus estudos na Floresta Amazônica a área basal das árvores maiores de 10 cm de DAP teve relação linear positiva com a biomassa viva acima do solo, com isso esperava-se uma relação positiva entre efluxo de CO₂ do solo e área basal, mas a análise estatística não permitiu confirmar esta relação, provavelmente a área basal neste caso age de maneira indireta, pois quanto maior a área basal maior será a quantidade de nutrientes e carbono no solo, promovendo maior efluxo de CO₂ do solo.

CONCLUSÕES

A média mensal do efluxo de CO₂ do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado variou de $2,88 \pm 1,51$ a $8,45 \pm 2,92 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. A média anual foi de $5,48 \pm 0,66 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

A área basal não descreveu a variação espacial do efluxo de CO₂ do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado, visto houve correlação bem fraca entre ambos.

Houve uma correlação fraca entre o efluxo de CO₂ do solo e a umidade do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado.

Não houve resposta satisfatória do efluxo de CO₂ do solo e a temperatura do solo na Floresta de Transição Amazônica Cerrado, visto que houve uma correlação fraca.

Houve uma correlação muito forte entre a serrapilheira acumulada somente na estação seca na Floresta de Transição.

O efluxo de CO₂ do solo na Floresta de Transição foi em média superior, ao na área de Pastagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos órgãos de fomento de Pesquisa: CAPES, CNPq e FAPEMAT. Ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Ball, A.S.; Drake, B.G. 1998. Stimulation of soil respiration by carbon dioxide enrichment of marsh vegetation. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8-9):1203-1205.
- Bernoux, M., Carvalho, M.S., Volkoff, B., Cerri, C.C. 2002. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Sci Soc Am J*. 66:888-896.
- Callegari-Jacques, S.M. 2003. *Bioestatística (princípios e aplicações)*. São Paulo- SP. Artmed Editora, 255pp.
- Chambers, J.Q.; Tribuzy, E.S.; Toledo, L.; Chispim, B.F.O.; Higuchi, N.; Santos, J.; Araújo, A.C.; Kruijt, B.; Nobre, A.D.; Trumbore, S.E. 2002. Respiration from a tropical forest ecosystem partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Application*, 14:S72-S88.
- Clark, D.A. 2004. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philos T Roy Soc B*. 359:477-491.
- Davidson, E.A.; Belk, E.; Boone, R.D. 1998. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology*, 4: 217-227.
- Fang, C.; Moncrieff, J.B. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 155-165.

- Fernandes, S.A.P.; Bernoux, M.; Cerri, C.C.; Feigl, B.J.; Piccolo, M.C. 2002. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. *Geoderma*, 107: 227-241.
- Freitas, H.C. 2001. *Efluxo de CO₂ do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondonia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o modelo SiB2*. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 59pp.
- Howard, D.M.; Howard, P.J.A. 1993. Relationships between CO₂ evolution, moisture content and temperature for a range of soil types. *Soil Biology and Biochemistry*, 25: 1537-1546.
- Kang, S.; Sueyoung, D.; Lee, D.; Lee, D.; Jin, V.L.; Kimball, J.S. 2003. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperature mixedhardwood forest slopes, Korea. *Global Change Biology*, 9: 1427-1437.
- La Scala Jr., N.; Marques Jr., J.; Pereira, G.T.; Cora, J.E. 2000. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 32: 1459-1462.
- Luizão, F.J.; Schubart, H.O.R. 1987. Litter production and decomposition in a Terra-Firme Forest of Central Amazônia. *Experientia*, 43: 259-265.
- Meir, P.; Grace, J.; Miranda, A.; Lloyd, J. 1996. *Soil respiration in Amazônia and in cerrado in central Brazil*. Amazonian Deforestation and Climate. eds. J. C. H. Gash, C. A. (eds.), Amazon Deforestation and Climate, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 319-330pp.
- Mielnick, P.C.; Dugas, W.A. 2000. Soil CO₂ in a Tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 221-228.
- Nunes, P.C. 2003. *Influência do efluxo de CO₂ do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril*. MT. Dissertação (Mestrado em Ciências Agricultura Tropical); - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 68pp.
- Odum, E.P. 1988. *Ecologia*. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Editora Guanabara. 434pp.
- Priante Filho, N.; Hayashi, M.M.S., Nogueira, J.S. de; Campelo Jr, J.H., Nunes, P.C.; Sanches, L.; Couto, E.G.; Hoeger, W.; Raiter, F.; Trienweiler, J.L.; Miranda, E.J.; Priante, P.C.; Pereira, L.C.; Biudes, M.S.; Fritzen, C.L.; Lacerda, M.; Suli, G.S.; Shiraiwa, S.; Silveira, M.; Vourlitis, G.L. 2004. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. *Global Change Biology*, 10: 863-876.
- Primavesi, A. 1999. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. Nobel, São Paulo, SP, 549pp.
- Raich, J.W.; Potter, C.S.; Bhagawati, D. 2002. Interannual variability in global soil respiration 1980-94. *Global Change Biology*, 8: 800-812.
- Raich, J.W.; Schlesinger, W.H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 44B, 81-99.
- Salimon, C.I. 2003. *Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Occidental, Acre*. Tese de Doutorado (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 97 pp.
- Sioli, H. 1991. *Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. 3ª ed. Vozes, Petrópolis, RJ, 72pp.
- Sotta, E.D. 1998. *Fluxo de CO₂ entre solo e a atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central*. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas, Manaus, 128pp.
- Sotta, E.D.; Meier, P.; Malhi, Y.; Nobre, A. D.; Hodnett, M.; Grace, J. 2004. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in central Amazon. *Global Change Biology*, 10:601-617.
- Tiwari, S.C.; Tiwari, B.K.; Mishura, R.R. 1987. The influence of moisture regimes on the population and activity of soil microorganisms. *Plant and Soil*, 101:133-136.
- Valentini, C.M.A.; Sanches, L.; Paulo, S.R. de; Vourlitis, G.L.; Nogueira, J.S.; Pinto-Júnior; O.B., Lobo F. de A. 2008. Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 113, G00B10, doi:10.1029/2007JG000619, 2008.
- Vanhala, P. 2002. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 34: 1375-1379.
- Varella, R.F.; M.M.C. Bustamante, A.S. Pinto; K.W. Kisselle, R.V. Santos; R. A. Burke; R.G. Zepp, L. T. Viana. 2004. Soil fluxes of CO₂, CO, NO, and N₂O from an old pasture and from native savanna in Brazil. *Ecological Applications*, 14: S221-S231.
- Vianello, R.L.; Alves, A.R. 1991. *Meteorologia básica e aplicações*. UFV, Viçosa, MG, Brasil, Editora da UFV.
- Yim, M.H.; Joo, S.J.; Syodou, K; Nakane, K. 2002. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. *Forest Ecology and Management*, 5979:1-4.
- Yoda, K; Kira, T. 1982. Accumulation of organic matter, carbon, nitrogen and other nutrient element in the soils of a lowland rainforest at Pasoh, Peninsular Malaysia. *Japanese Journal Ecological*, 32:275-291.
- Zimmermann, S.; Braun, S.; Conedera, M.; Blaser, P. 2002. Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 161:289-302.

Recebido em 28/03/2008

Aceito em 26/08/2009

