

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FÍSICA AMBIENTAL

**ESTUDO DO FLUXO DE CO₂ E DO ESTOQUE DE
CARBONO DO SOLO EM ÁREA DE INTERFLÚVIO
NO PANTANAL MUNICÍPIO DE POCONÉ
MATO GROSSO**

PAULA VALÉRIA DE CARVALHO

PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR

Orientador

Cuiabá, MT.
Março de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESTUDO DO FLUXO DE CO₂ E DO ESTOQUE DE
CARBONO DO SOLO EM ÁREA DE INTERFLÚVIO
NO PANTANAL MUNICÍPIO DE POCONÉ
MATO GROSSO**

PAULA VALÉRIA DE CARVALHO

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física
Ambiental da Universidade Federal de
Mato Grosso, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física Ambiental.*

PROF. DR. OSVALDO BORGES PINTO JUNIOR

Cuiabá, MT
Março de 2013

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C331e Carvalho, Paula Valéria de.
ESTUDO DO FLUXO DE CO₂ E DO ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO
EM ÁREA DE INTERFLÚVIO NO PANTANAL MUNICÍPIO DE POCONÉ,
MATO GROSSO. / Paula Valéria de Carvalho. -- 2013
68 f. ; 30 cm.

Orientador: Osvaldo Borges Pinto Junior.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2013.
Inclui bibliografia.

1. solos tropicais. 2. dinâmica de ecossistemas. 3. trocas de massa e energia. 4.
ciclos biogeoquímicos. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTUDO DO FLUXO DE CO₂ E DO ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM ÁREA DE INTERFLÚVIO NO PANTANAL MUNICÍPIO DE POCONÉ MATO GROSSO

AUTORA: PAULA VALÉRIA DE CARVALHO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 01 de março de 2013, pela comissão julgadora:

Oswaldo Borges Pinto Jr

Prof. Dr. Oswaldo Borges Pinto Junior – Orientador
Programa Nacional de Pós Doutorado – CAPES

Luciana Sanches

Profa. Dra. Luciana Sanches – Examinadora Interna
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT

Vinicius Buscioli Capistrano

Prof. Dr. Vinicius Buscioli Capistrano – Examinador Externo
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Edilson, meu amor, meu amigo e meu companheiro, que desde o princípio sempre esteve ao meu lado me apoiando e me incentivando a conquistar os meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus, pela minha existência, pela saúde e por ter colocado tantas pessoas maravilhosas no meu caminho;
- Ao Professor Dr. Osvaldo Borges Pinto Jr por ter aceitado ser meu orientador, por estar sempre presente e me direcionado nas soluções dos problemas que surgiram durante o mestrado e também por ser tão atencioso, prestativo e amigo;
- À minha querida mãe, Roseli, que me colocou no mundo e me ensinou a lutar pelos meus objetivos;
- Às minha irmãs e meus sobrinhos que eu amo muito;
- Ao Edilson, Luana e Airon que muitas vezes compreenderam o meu “estresse” e de alguma maneira me apoiaram nessa nova etapa da minha vida;
- À minha família que sempre me apoiou, em especial a tia Marta e o tio Vando, que tem grande parcela de responsabilidade na conclusão deste trabalho;
- À família do Edilson, por acreditarem e torcerem por mim;
- Aos meus amigos Jonathan, Thiago Rangel, Leone, Renan e Allan, por compartilhar a sala de estudo e pelo carinho e amizade de sempre;
- Aos meus colegas da turma 2011, Aryadne, Cristiano, Maísa, Patrick, Pedro, Raphael, Renan, Saiani, Thomas, Vanessa, Victor, Vinícius;
- Aos meus companheiros de campo, Thiago Rangel e Renan, por não se importarem com as picadas de mosquito, ficar ensopado com a chuva e pegar carrapatos;
- Ao Professor Paraná e a Professora Marta, pela amizade, carisma, apoio e por me fazer sentir tão bem junto à Física Ambiental;

- Aos professores da Física Ambiental que com sabedoria e dedicação contribuíram para minha formação acadêmica;
- Aos meus amigos Shapiro, Kolmogorov, Doido menino, Zé Faquinha, Spock e Romeuzinho pelas agradáveis reuniões motivacionais.
- Aos amigos Cezário e Soilce pela atenção e colaboração nos assuntos burocráticos do mestrado e a Jo, por manter nosso ambiente de trabalho limpinho;
- Aos membros da banca examinadora, Prof^a. Dr^a. Luciana Sanches e Prof. Dr. Vinícius Buscioli Capistrano, pelas sugestões e contribuições na elaboração deste trabalho.
- Ao SESC – Pantanal, por permitir a presente pesquisa em seu território;
- À CAPES pelo auxílio financeiro;

EPÍGRAFE

“Na vida, não vale tanto o que temos, nem tanto importa o que somos. Vale o que realizamos com aquilo que possuímos e, acima de tudo, importa o que fazemos de nós!”

Chico Xavier

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE QUADRO	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. O PANTANAL	3
2.2. FLUXO DE CO ₂ DO SOLO E RESPIRAÇÃO DO SOLO	4
2.3. UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO.....	5
2.4. SERRAPILHEIRA ACUMULADA E PRODUZIDA.....	6
2.5. CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
3.2. METODOLOGIA	10
3.2.1 Medidas de fluxo de CO ₂ do solo	10
3.2.2 Temperatura do solo.....	11
3.2.3 Umidade do solo	11
3.2.4 Serrapilheira acumulada e produzida	12
3.2.5 Densidade do solo	12
3.2.6 Carbono orgânico total do solo (COT).....	13
3.2.7 Medidas automatizadas no perfil do solo.....	14
3.2.8 Medidas microclimáticas	15
3.2.9 Análises estatísticas.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 MEDIDAS MICROCLIMÁTICAS	17
4.2 TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO.....	18
4.3 SERRAPILHEIRA ACUMULADA E PRODUZIDA.....	20
4.4 FLUXO DE CO ₂ DO SOLO	22
4.4.1 Variação do fluxo de CO ₂	22

4.4.2 Fluxo de CO ₂ e temperatura do solo	25
4.4.3 Fluxo de CO ₂ do solo e umidade do solo	28
4.5 CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ DO SOLO	30
4.6 ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	35
5. CONCLUSÃO	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de interflúvio no Pantanal no município de Poconé. Fonte: Adaptado de BRANDÃO (2012).....	9
Figura 2 - Sensor de CO ₂ (modelo GMM220, Vaisala Inc., Helsinki, Finland)..	14
Figura 3 - Sensor meteorológico (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland).....	16
Figura 4 - Média mensal (\pm DP) da temperatura do ar (°C) e da umidade relativa do ar (%), em 2012 em área de interflúvio no Pantanal no município de Poconé.	17
Figura 5 - Precipitação acumulada mensal (mm) em 2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé.	18
Figura 6 - Média mensal (\pm DP) da temperatura do solo (A) e umidade do solo (B), em área de interflúvio no Pantanal Mato-grossense em 2012.	19
Figura 7 - Médias de temperatura do solo (°C) a 5 cm de profundidade e do ar em 2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé.	20
Figura 8 - Fluxo de CO ₂ do solo em área de interflúvio no Pantanal no município Poconé em 2012	23
Figura 9 - Média mensal (\pm DP) do fluxo de CO ₂ do solo (A) e da temperatura do solo (B) em área de interflúvio no Pantanal no município Poconé em 2012.....	25
Figura 10 - Resposta da temperatura do solo a 5 cm de profundidade sobre o fluxo de CO ₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).	26
Figura 11 - Resposta da temperatura do solo na profundidade de 10 cm sobre o fluxo de CO ₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).....	27
Figura 12 - Resposta da temperatura do solo na profundidade de 30 cm sobre o fluxo de CO ₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).	27
Figura 13 - Resposta da umidade do solo sobre o fluxo de CO ₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).	28
Figura 14 - Média mensal (\pm DP) do fluxo de CO ₂ do solo (A) e da umidade do solo (B), os meses de janeiro e fevereiro não foram amostrados dados de umidade do solo.	29
Figura 15 - Concentração de carbono do solo na profundidade de 10 cm, durante as estações de cheia, vazante, estiagem e enchente.	31
Figura 16 - Concentração de carbono do solo na profundidade de 30 cm, durante as estações de cheia, vazante, estiagem e enchente.	32
Figura 17 - Resposta da concentração de CO ₂ do solo na profundidade de 10cm sobre o fluxo de CO ₂ do solo, durante os períodos de cheia (A), vazante (B),	

estiagem (C) e enchente (D). ** correlação significativa ao nível de 1% ($p < 0,01$); * correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$). 34

Figura 18 - Resposta da concentração de CO₂ do solo na profundidade de 30cm sobre o fluxo de CO₂ do solo, durante os períodos de cheia (A), vazante (B), estiagem(C) e enchente (D). ** correlação significativa ao nível de 1% ($p < 0,01$); * correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$). 35

Figura 19 - Média mensal (\pm DP) do estoque de carbono orgânico do solo em 2012 em uma área de interflúvio no Pantanal município de Poconé. 36

Figura 20 - Balanço do estoque de carbono do solo. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Folhas, Galhos, Sementes e total da Serrapilheira acumulada (Acum.) e produzida (Prod.) ($t\ ha^{-1}mês^{-1}$) de fevereiro a dezembro/2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé. *Valores insignificantes.....	21
Tabela 2 - Médias horárias do fluxo de CO_2 do solo ($g(CO_2)m^{-2}h^{-1}$).	23
Tabela 3 - Estoque de Carbono do solo em diferentes fitofisionomias do RPPN Sesc Pantanal, Barão de Melgaço (MILESI, 2010) e em área de interflúvio no município de Poconé, no Pantanal Mato-grossense.....	37
Tabela 4 - Matriz de correlação das variáveis estudadas: Fluxo de CO_2 ($g(CO_2)m^{-2}h^{-1}$); Estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$); Concentração de CO_2 (10cm) (ppm); Concentração de CO_2 (30cm) (ppm); Serrapilheira acumulada e produzida ($t\ ha^{-1}mes^{-1}$); Umidade do solo (%); Temperatura do solo (5cm) ($^{\circ}C$); Temperatura do solo (10cm) ($^{\circ}C$); Temperatura do solo (30cm) ($^{\circ}C$).....	40

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Estudos realizados do fluxo de CO ₂ do solo no Brasil.....	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
R	Razão de fluxo de CO ₂ do solo (g(CO ₂)m ⁻² h ⁻¹)
DT	Tempo decorrido de medida;
DC	Diferença de concentração de CO ₂ no tempo decorrido;
V	Volume total do sistema;
A	Área do solo exposto à medida.
Cm	Centímetros
UG	Umidade do solo (UG)
u _m	Massa de solo úmida
m _s	Massa de solo seca
m _a	Massa de água
ECO	Estoque de carbono orgânico na camada estudada (t ha ⁻¹);
C	Teor de carbono na camada (g kg ⁻¹);
D	Densidade aparente do solo da camada estudada (g cm ⁻³);
E	Espessura da camada estudada (cm).
CO ₂ _{cor}	Concentração de CO ₂ (ppm)
CO ₂ _{med}	Concentração de CO ₂ medida (ppm)
T	Temperatura do solo (°C)
P _{atm}	Pressão atmosférica (hPa)

RESUMO

CARVALHO, P. V. *Estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de carbono do solo em área de interflúvio no Pantanal Município de Poconé Mato Grosso*. 64p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

Este trabalho teve como objetivo principal averiguar se o solo está atuando como fonte ou sorvedouro de carbono, por meio da análise temporal do fluxo de CO₂ e pelo estoque de carbono em área de Cerrado no Pantanal Mato-grossense, como objetivos específicos foram quantificados os estoques de carbono do solo, considerando 4 períodos: vazante, enchente, cheia e estiagem. A partir da análise deste período, observou-se que o solo da área estudada atua como fonte de carbono. O valor médio do fluxo de CO₂ do solo no Pantanal foi $0,54 \pm 0,30 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$. O fluxo de CO₂ do solo correlacionou significativamente com a concentração de CO₂ a 30cm de profundidade, assim como a umidade do solo e a temperatura do solo a 5cm de profundidade e muito significativa com a temperatura do solo a 10 e 30cm de profundidade. Entretanto, com a serapilheira acumulada e produzida, a concentração de CO₂ a 10cm e estoque de carbono do solo não houve correlação significativa. O estoque de carbono não se correlacionou significativamente com nenhuma das variáveis estudadas, sugerindo que existem mais variáveis que possam influenciar a dinâmica do estoque de carbono do solo. Na área de estudo o solo atuou como provável fonte de carbono no Pantanal Mato-grossense, sendo a estimativa do balanço de carbono do solo foi de $-9,11 \text{ toneladas ha}^{-1}$.

Palavras Chave: ciclos biogeoquímicos, dinâmica de ecossistemas, trocas de massa e energia, solos tropicais.

ABSTRACT

CARVALHO, P. V. *Study of the CO₂ flux and soil carbon stock of an interfluvial area of the Pantanal in the municipality of Poconé, Mato Grosso* 64p. Dissertation (Master's in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso Cuiabá, 2013.

This study aimed to determine if the soil is acting as a source or sink of carbon, by analyzing the temporal flow of CO₂ and the carbon stock in Cerrado of Mato Grosso Pantanal, specific objectives were quantified inventories soil carbon, considering four periods: ebb, flooding and drought. From the analysis of this period, it was observed that the soil under study acts as a carbon source. The average value of the CO₂ flow in the wetland soil was 0.54 ± 0.30 g (CO₂) m⁻²h⁻¹. The flow of soil CO₂ was significantly correlated with the concentration of CO₂ at 30 cm depth as well as soil moisture and soil temperature at a depth of 5 cm and very significantly with soil temperature at a depth of 10 to 30cm. However, with the accumulated litter and produced, the concentration of CO₂ to 10cm and soil carbon stock no significant correlation. The carbon stock did not correlate significantly with any of the variables studied, suggesting that there are more variables that can influence the dynamics of soil carbon stock. In the study area the soil acted as a likely source of carbon in the Pantanal, with an estimated balance of soil carbon was -9.11 t ha⁻¹.

Keywords: biogeochemical cycles, ecosystem dynamics, mass and energy exchange, tropical soils.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Os fenômenos ambientais que definem a configuração das dinâmicas em superfície vegetada e no solo, especialmente esse último, são considerados atualmente como fatores determinantes nas questões relacionadas aos drenos e fontes de carbono.

Hoje em dia é necessário compreendermos como os distintos ecossistemas emitem ou sequestram carbono atmosférico, sabemos que existe uma complexa variedade de processos físicos, químicos e bióticos, atuando em direções ou intensidades diferentes. Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes, não só para caracterizar o microclima local, como identificar interações existentes entre elas.

O Brasil, com a sua dimensão continental, apresenta diversos ecossistemas que foram definidos e limitados ao longo do tempo, em decorrência das características climáticas, do solo, da topografia e da biodiversidade.

O Pantanal, Cerrado e Floresta Amazônica são considerados importantes sistemas reguladores do meio ambiente, sendo que o Pantanal tem despertado interesse na comunidade científica ligada ao meio ambiente devido ao seu regime de chuva e inundação que afeta a distribuição sazonal de energia e carbono dessa região.

O melhor entendimento da dinâmica do fluxo de CO₂ do solo é fundamental para compreender a participação do solo no balanço do carbono. Outro fator importante é a compreensão de como os distintos ecossistemas, como o Pantanal mato-grossense, emitem ou sequestram carbono.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como o fluxo de CO₂ do solo é um componente expressivo da dinâmica do Carbono (C) nos ecossistemas terrestres, seu entendimento e quantificação têm papel fundamental, quando se trata de estudos de ecossistemas.

A quantificação do fluxo de carbono do solo diretamente *in situ* fornece medição mais precisa da emissão de CO₂ do solo do Pantanal e esta informação pode ser utilizada, por exemplo, para estimativas de sequestro de carbono do ecossistema.

Dentre o contexto apresentado, o objetivo geral deste trabalho foi analisar se o solo está atuando como fonte ou dreno de carbono, por meio da análise temporal do fluxo de CO₂ e pelo estoque de carbono. Para tanto, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- Medir o fluxo de CO₂ do solo no Pantanal Norte Mato-grossense;
- Avaliar a relação entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo;
- Avaliar a relação entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo;
- Avaliar a relação entre o fluxo de CO₂ e a concentração de CO₂ do solo a 10 e 30cm.
- Quantificar a serrapilheira e o estoque de carbono no solo;
- Calcular o balanço de carbono do solo;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O PANTANAL

O Pantanal é um dos maiores sistemas de áreas úmidas tropicais, cobrindo uma área de cerca de 140.000 km² na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, se estendendo por todo oeste do Brasil e partes da Bolívia e do Paraguai, composto por uma gama de floresta tropical e cerrado (LEADY e GOTTGENS 2001).

Dessa forma, o Pantanal é uma paisagem heterogênea, onde se conhece a existência de diversos “pantanais”, com características próprias, ecológica e floristicamente diferentes. A proporção de ocorrência de certas comunidades vegetais nos pantanais depende das características ecológicas, especialmente da frequência, extensão, altura e duração das inundações e das características do solo (CORSINI e GUARIM NETO, 2000).

O pulso de inundação do Pantanal é a principal força moderadora, levando à livre formação de estandes monodominantes devido à sua baixa drenagem e ao frequente prolongamento do período de inundação. Outra característica é a ocorrência de um período seco (entre abril e setembro), que causa frequente estresse hídrico nas plantas locais, regulando sua fenologia e produção de fitomassa (JUNK, 2002).

Em geral, no mês de outubro inicia as chuvas terminando entre os meses de fevereiro e maio, sendo julho e agosto caracterizados como meses secos na região, causando frequentemente estresse hídrico (perda de água excede a absorção) para as plantas locais (BIUDES, 2008).

A inundação impulsiona a força motriz deste ecossistema de forma monomodal, ou seja, com um período regular de águas altas e outro de águas baixas e fortes intensificações dos períodos de secas e chuvas são decorrentes das flutuações plurianuais do nível hídrico que influenciam sazonalmente as características limnológicas, ecológicas e biológicas (JUNK et al., 1989).

O Pantanal é extremamente diversificado, com cerca de 144 famílias de plantas superiores e mais de 1000 espécies de plantas (JUNK e NUNES DA CUNHA, 2005). A heterogeneidade de espécies pode também ser explicado pelas

recorrentes inundações, que ao longo de um gradiente hidro-topográfico, apresenta relação inversa com a altura da lâmina de água (NASCIMENTO e NUNES DA CUNHA 1989; ARIEIRA e NUNES DA CUNHA, 2006).

O clima do Pantanal é predominantemente tropical e geralmente com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é aproximadamente 25°C, com mínima de 15°C e máxima 34°C. A precipitação média anual mínima é de 1000mm nas partes central e oeste da região, e até de 1600mm na borda mais elevada ao longo do limite com os planaltos e serras da Bacia do Alto Paraguai (HASENACK et al., 2003).

O aumento do desmatamento para a criação de gado pode modificar o clima local, levando as sérias consequências ecológicas, como o aumento da temperatura do ar, redução na precipitação e evaporação e o prolongamento do período seco (NOBRE et al., 1996).

Os solos do Pantanal desenvolveram-se a partir de sedimentos inconsolidados marcadamente arenosos com áreas restritas de materiais argilosos e orgânicos depositados ao longo do Quaternário (SANTOS et al., 1997).

Segundo PAULETTO et al. (1999) os solos de várzea compreendem solos que, apesar de grandes variações físicas (textura, estrutura, porosidade, etc...), apresentam uma característica comum, que é a formação em condições de hidromorfismo (excesso d'água). A deficiente drenagem natural é, normalmente, motivada pelo relevo predominantemente plano, associado a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável.

Associados aos aspectos de má drenagem, os solos hidromórficos apresentam em sua maioria, densidade naturalmente elevada, reduzida condutividade hidráulica, baixa velocidade de infiltração, relação micro/macroporos muito alta e baixa capacidade de armazenamento e disponibilidade de água às plantas na camada superficial (GOMES et al., 1992).

2.2. FLUXO DE CO₂ DO SOLO E RESPIRAÇÃO DO SOLO

A medida de fluxo de CO₂ da superfície do solo é provavelmente o método mais amplamente usado para estimar a taxa de respiração do solo *in situ*. No

entanto, respiração do solo e o fluxo de CO₂ não são sinônimos, embora sejam frequentemente usados como tal. A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica do solo, e inclui a respiração das raízes e organismos do solo. O fluxo de CO₂ é a liberação de CO₂ para atmosfera e, portanto, depende da produção de CO₂ do solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (difusão) (COELHO, 2006).

Entretanto, a maior parte do CO₂ produzido no solo é liberado para a atmosfera, assim, o fluxo de CO₂ medido no solo, relativamente sobre longos períodos, reflete a respiração do solo. A respiração do solo é um dos maiores e mais importantes processos de liberação do carbono em um ecossistema terrestre, podendo ser medido por vários métodos, como o de covariância de vórtices turbulentos, que permite medir a respiração do solo no período noturno e o uso de câmaras colocadas sobre o solo que possibilita uma medida direta da respiração do solo de da serrapilheira que ocorre dentro das camadas do solo (DAVIDSON et al., 2002).

Ecossistemas em que a respiração total excede a assimilação pelos produtores primários são considerados fontes de carbono para a atmosfera, já em ecossistemas em que a produção de matéria orgânica supera a atividade dos decompositores e ocorre o acúmulo de material orgânico do solo são considerados depósitos de carbono ou sequestradores de CO₂ atmosférico (SILVA, 2006)

Os processos do ciclo de carbono variam de bioma para bioma, entretanto algumas das maiores taxas de carbono podem ser encontradas nas florestas tropicais úmidas, que estão entre os mais importantes e menos monitorados ecossistemas do planeta (MALHI et al., 1998).

2.3. UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO

A umidade e a temperatura do solo são os principais fatores do controle de emissão de CO₂ do solo, especialmente quando a variabilidade temporal é considerada (KANG et al., 2003; EPON et al., 2004). A umidade do solo tende a ser maior quando a temperatura do solo é baixa e vice-versa.

Um aumento da temperatura e diminuição da umidade podem inibir a decomposição microbiana (TANG et al., 2003).

2.4. SERRAPILHEIRA ACUMULADA E PRODUZIDA

A serrapilheira é definida como todo tipo de material biogênico em vários estádios de decomposição, material esse que representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras (BRUN et al., 2001).

São muitos os fatores bióticos e abióticos que influenciam a deposição e transformação da serrapilheira. Destacam-se entre esses: tipo de vegetação, estágio sucessional, característica de decíduidade e herbivoria a que está submetida, latitude, altitude, relevo, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz, fotoperíodo, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, entre outros (BRUN et al., 2001; VITAL et al., 2004; CASTANHO, 2005; FERNANDES et al., 2006).

De acordo com DAVIDSON et al. (2002), a deposição da serrapilheira exerce relevante influência sobre o fluxo de CO₂, assim, qualquer fator que altere essa deposição pode afetar a taxa de respiração e o balanço de carbono.

Outros fatores que podem potencialmente contribuir para uma variação adicional no fluxo de CO₂ do solo entre os diferentes tipos de vegetação, incluem o conteúdo e as frações da matéria orgânica do solo, a biomassa de raízes finas e a biodiversidade das comunidades de plantas e microrganismos (WAGAI et al., 1998).

2.5. CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO

O elemento carbono encontra-se no solo sob duas formas: carbono orgânico – a matéria orgânica do solo; e carbono inorgânico – na forma de carbonatos (MACHADO, 2005).

O estoque de carbono de um solo sob vegetação natural representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (SCHOLES et al., 1997). As taxas de adição e a qualidade do carbono da vegetação dependem muito do clima (principalmente da temperatura do ar e da precipitação), do tipo de vegetação (gramíneas decompõem-se mais lentamente que plantas leguminosas) e da fertilidade do solo (solos férteis resultam em plantas

maiores que contêm, por sua vez, mais carbono a ser depositado no solo) (BATJES, 1999).

Os ecossistemas terrestres que compreendem a vegetação e o solo são considerados atualmente como um grande sumidouro de carbono (MACHADO, 2005). O solo é um dos mais importantes reservatórios terrestre para o armazenamento de carbono. Estima-se que o total de carbono orgânico do solo armazenado é cerca de 1400-1500 Pg C, que é aproximadamente duas vezes maior o que o tanque atmosférico (750 Pg C) (ESWARAN et al., 1993; LAL, 2006; SHI et al., 2010).

Apesar de a matéria orgânica influenciar na variação da quantidade de carbono existente no solo, o ciclo hidrológico do Pantanal, definido pela estiagem, vazante, enchente e cheia, influencia nos fenômenos ocorridos no solo. Isto é concordante com a afirmação de NOGUEIRA et al. (2002) de que a distribuição de matéria orgânica em um campo inundável na região norte do Pantanal de Mato Grosso é grandemente influenciada pelo pulso de inundação.

CARDOSO et al. (2004) observaram também que independente do pulso de inundação que ocorre no Pantanal, os valores dos teores de matéria orgânica variaram em função da profundidade do solo. Eles encontraram os maiores teores de matéria orgânica na profundidade de 0 a 5 cm, tanto para antes como depois da cheia, e decréscimos lineares na medida em que aumentava a profundidade do solo (MILESI, 2010). WEBER et al. (2005) não constataram variações significantes para os teores de carbono no Pantanal Mato-grossense.

Em solos tropicais, como os do Pantanal, por exemplo, ZECH et al. (1990) encontraram que a disponibilidade de matéria orgânica torna-se menor, sendo elevada a presença de compostos orgânicos ricos em grupamentos aromáticos e carboxílicos. Além disso, HAASE (1999) afirma que essas regiões com espécies de vegetação mais lenhosa, devido ao grande acúmulo de matéria orgânica, apresentam maior quantidade de carbono estocado no solo.

Segundo ALMEIDA (2005), a estocagem de carbono pode oscilar de acordo com a época da coleta, a vegetação existente, a profundidade de coleta de solo, a deposição e decomposição dos resíduos e/ou matéria orgânica, além das condições ambientais e de manejo.

Para BRUCE et al.(1999) e DE BONA et al. (2006), o solo é considerado um reservatório temporário de carbono no ecossistema, sendo que na natureza este elemento está em constante processo de ciclagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área localizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, município de Poconé – MT, distante 130 km de Cuiabá – MT, na região conhecida como Baía das Pedras nas coordenadas 16°29'52" S e 56°24'47" O (Figura 1).

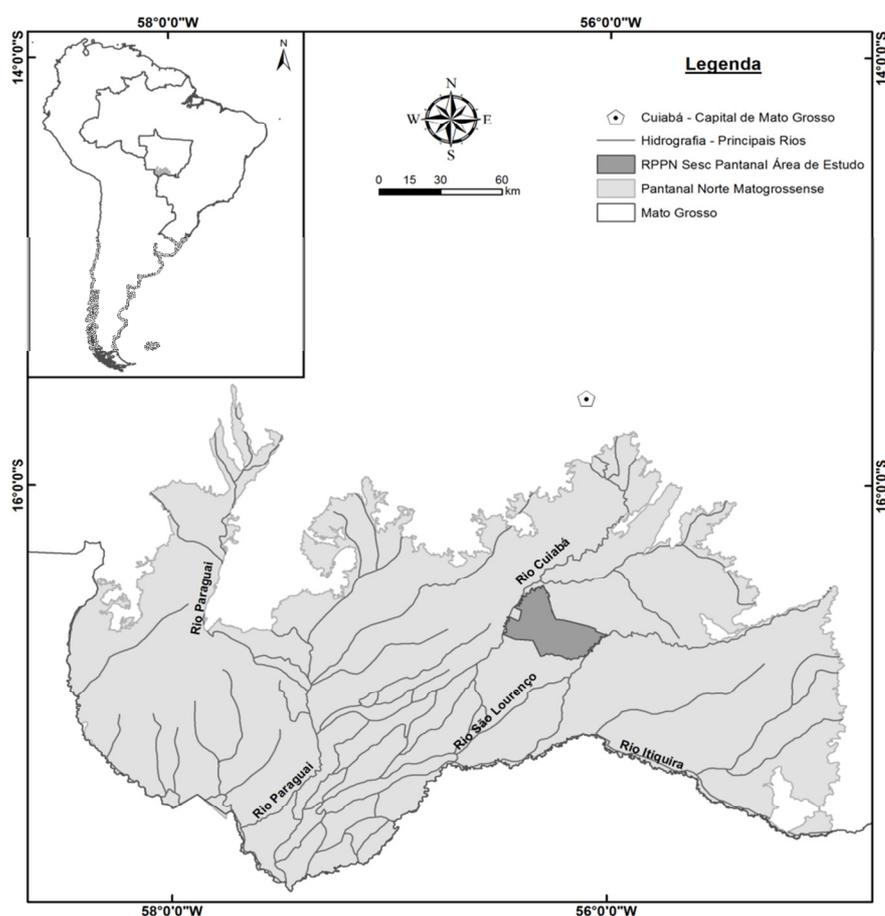


Figura 1 - Localização da área de interflúvio no Pantanal no município de Poconé. Fonte: Adaptado de BRANDÃO (2012)

O clima da região é tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, apresentando sazonalidade característica, com um período chuvoso (outubro-abril) e outro seco (maio-setembro) (NUNES DA CUNHA E JUNK, 2004). A temperatura média anual do ar na RPPN SESC Pantanal oscila entre 22 e 32°C e a precipitação

média anual entre 1100 e 1200 mm, com o total médio do mês mais seco inferior a 40 mm (HASENACK et al., 2003).

O solo da região estudada é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico Típico e a fitofisionomia do local foi classificada como Cerrado *sensu stricto*.

O tipo de vegetação predominante na área de estudo é a *Scheelea phalerata* (Arecaceae) popularmente conhecida como palmeira acuri. O palmeiral é uma formação típica de cerrado e geralmente são encontrados em terrenos bem drenados, principalmente em áreas de interflúvio, embora possam ser encontrados em solos mal drenados, onde pode haver a formação de galerias acompanhando as linhas de drenagem (EITEN, 1993).

3.2. METODOLOGIA

Neste estudo, assim como nos trabalhos propostos por MESSIAS (2011) e BRANDÃO (2012), as análises foram divididas em períodos: o período da cheia correspondendo aos meses de fevereiro, março e abril; o período da vazante, aos meses de maio, junho e julho; o período da estiagem, aos meses de agosto, setembro e outubro; e, por fim, o período da enchente, aos meses de novembro, dezembro e janeiro, com o propósito de se comparar os resultados encontrados.

Na área em estudo foram realizadas medições de fluxo de CO₂ do solo, temperatura do solo, coleta de solo deformado para determinação da umidade e carbono orgânico total, coleta da serrapilheira produzida e acumulada, além de medições automatizadas no perfil do solo a 10 e 30 cm da concentração de CO₂ e temperatura do solo e medidas micrometeorológicas da: Precipitação, Temperatura do Ar, Umidade Relativa e Pressão Atmosférica.

3.2.1 Medidas de fluxo de CO₂ do solo

Para a análise do fluxo de CO₂ do solo do Pantanal, utilizaram-se dados coletados de janeiro a dezembro de 2012. As medidas de fluxo de CO₂ do solo foram determinadas em 5 pontos distintos entre si, mensalmente, no período das 8 às 16 horas, com intervalos horários para cada medida. Foram instalados 5 anéis no solo de 10 centímetros de diâmetro nos pontos, 30 dias antes do início do estudo, que

permaneceram no solo até o final do estudo. O cloreto de polivinil (PVC) foi o material escolhido para fabricação dos anéis, devido à coloração branca (menor aquecimento) e sua adequada durabilidade no campo (COSTA et al.,2006).

As medidas de fluxo de CO₂ do solo foram realizadas utilizando um analisador de gás por infravermelho portátil (EGM-4, PP Systems, U.K.) conectado a uma câmara de fluxo de CO₂ do solo (SRC-1, PP Systems, U.K.). A câmara do EGM-4 foi acoplada aos anéis durante a leitura. A serrapilheira presente dentro dos anéis não foi retirada.

Colocando uma câmara fechada de volume conhecido (1170cm³) sobre uma área do solo de 78 cm² e medindo a razão de aumento da concentração de CO₂ dentro desta câmara, quantificou-se o fluxo de CO₂ do solo de acordo com a equação 1:

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

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 volume total do sistema (cm³), A é a área do solo exposto à medida (cm²).

3.2.2 Temperatura do solo

As temperaturas do solo foram medidas mensalmente com termômetro digital convencional (modelo TE 400, Instrutherm, São Paulo, Brasil) próximas aos anéis e a uma profundidade de 5 cm. As medidas de temperatura do solo foram feitas simultaneamente com as medidas de CO₂ do solo em todos os 5 pontos durante janeiro a dezembro de 2012.

3.2.3 Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada pelo Método Gravimétrico durante março a dezembro de 2012. As amostras foram coletadas a 5 cm de profundidade do solo, mensalmente, próximas aos pontos de medição do fluxo de CO₂, e devidamente

acondicionadas em cápsulas de alumínio, levadas ao laboratório pesadas e colocadas em estufa não ventilada a 105°C, deixando nessa condição durante 24 horas, até atingir peso constante, sendo novamente pesadas para obtenção do teor de água na amostra.

A umidade do solo (UG) foi obtida da diferença entre a massa úmida (m_u) e a massa seca (m_s), dividida pela massa seca (m_s), para se obter a proporção de massa de água (m_a) por massa de solo seco (m_s). Em seguida multiplicou-se por 100, obtendo-se a porcentagem de água da amostra na base de massa seca (2).

$$UG = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

3.2.4 Serrapilheira acumulada e produzida

A coleta da serrapilheira acumulada no solo foi realizada por meio de um quadrante de molde vazado com dimensão de 0,20 x 0,20m (0,04m²). A coleta da serrapilheira produzida foi feita por meio de um coletor de armação de metal em formato cilíndrico e fundo de tela de sombrite de 1m², instalado a 1m acima do solo para evitar possíveis ações decompositoras no material vegetal. Foram coletados dados de fevereiro a dezembro de 2012.

As amostras de serrapilheira foram recolhidas mensalmente e levadas ao laboratório de instrumentação do Programa de Pós Graduação de Física Ambiental do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, onde foram lavadas com água destilada, posteriormente separadas em folhas, galhos, flores, frutos e sementes e levadas para secagem em estufa a 65 – 70°C por 72 horas. Sendo que, no final deste processo, foram realizadas pesagens em balança digital (modelo AG 200, Gehaka, São Paulo, Brasil).

3.2.5 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico com amostras de solo com estrutura indeformada coletadas por um anel de aço de volume interno conhecido. As amostras foram colocadas em estufa não ventilada a 105°C, deixando nessa condição durante 24 horas, ou seja, até atingir peso constante,

posteriormente foram pesadas para obtenção da massa do solo contida dentro do anel.

A equação (3) foi utilizada para calcular a densidade do solo.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Em que, D é a densidade do solo (g cm^{-3}), m é a massa do solo contida dentro do anel (g), depois de seco em estufa (105°C por 24 horas) e V é o volume do anel (cm^3).

3.2.6 Carbono orgânico total do solo (COT)

Para a análise do COT foram coletadas amostras de solo a 10 cm de profundidade, mensalmente, próximas aos pontos de medição do fluxo de CO_2 de janeiro a dezembro de 2012.

A determinação do teor do COT foi realizado em duplicata, utilizando 300 mg de amostra de solo por oxidação a 1200°C . As medidas foram realizadas utilizando o Analisador de Carbono (modelo HT 1300, Analytik Jena, Jena, Alemanha).

O estoque de carbono orgânico na camada de solo estudado foi calculado utilizando-se a expressão proposta por VELDKAMP, 1994.

$$ECO = \frac{C \times D \times e}{10} \quad (4)$$

Em que, ECO é o estoque de carbono orgânico na camada estudada (t ha^{-1}), C é o teor de carbono na camada (g kg^{-1}), D é a densidade aparente do solo da camada estudada (g cm^{-3}), e é a espessura da camada estudada (cm).

Calculou-se o balanço a partir do estoque inicial, usando o seguinte procedimento:

- para o tempo zero, estoque é igual ao período de janeiro/2012
- para o próximo tempo, usou-se o seguinte método:

Estoque do período de fevereiro/2012 menos o estoque do período de janeiro/12 é igual ao balanço de carbono estimado para o período.

- Nos demais meses utilizou-se o mesmo método descrito acima, o mês posterior e o mês anterior foram usados na estimativa do balanço de carbono no presente estudo.

3.2.7 Medidas automatizadas no perfil do solo.

Sensores para o monitoramento contínuo da concentração de CO₂ (ppm) e temperatura do solo (°C) foram instalados horizontalmente no perfil do solo nas profundidades de 10 e 30cm.

Os dados foram armazenados em intervalos de 30 minutos em datalogger (modelo CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA), conectado a uma bateria de 12V com uma placa solar (45W).

A concentração de CO₂ do solo foi determinada *in situ* por meio de um analisador de gás por infravermelho (modelo GMM 220, Vaisala Inc., Helsinki, Finland). Durante os primeiros 5 minutos de cada meia hora, os sensores eram ligados devido ao alto consumo de energia (4W cada) (Vaisala Oyj, 2008). Neste intervalo de 5 minutos, os primeiros 3 minutos em que os sensores ficavam ligados correspondem ao seu período de aquecimento, e os subsequentes 2 minutos restantes correspondem às leituras feitas num intervalo de 30 segundos, resultando em registros de meia em meia hora (MESSIAS, 2011) (Figura 2).



Figura 2 - Sensor de CO₂ (modelo GMM220, Vaisala Inc., Helsinki, Finland).

A obtenção da pressão atmosférica e temperatura do solo (sensor BPS e termostato, Apogee Instruments, Logan, Utah, USA) foram usadas para corrigir as leituras de concentração de CO₂ pela dependência desses valores à lei dos gases perfeitos (VAISALA OYJ, 2008, MESSIAS, 2011) de acordo com:

$$CO_{2cor} = CO_{2med} - ((-0,003 \times CO_{2med}) \times (25 - temp)) - ((0,015 \times CO_{2med}) \times (P_{atm} - 1013,25)) \quad (5)$$

Onde, CO_{2cor.} é a concentração de CO₂ corrigida em ppm, CO_{2med.} é a concentração de CO₂ medida em ppm, T é a temperatura do solo em °C, P_{atm} é a pressão atmosférica em hPa.

Para a análise da concentração de CO₂ do solo do Pantanal a 10 cm, utilizou-se dados coletados de janeiro a novembro de 2012 e a 30 cm utilizou-se dados coletados de janeiro a dezembro de 2012.

3.2.8 Medidas microclimáticas

Na Baía das Pedras, distante cerca de 3km da área de estudo, foi instalado um sensor meteorológico (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland) (Figura 3) a 2 metros de altura do solo. Esse sensor realizou medidas numa frequência de 10 Hz das seguintes variáveis: temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), pressão do ar (hPa) e precipitação acumulada média diária (mm). Os dados foram armazenados no mesmo *datalogger* (modelo CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) descrito anteriormente, em intervalos de 30 minutos, e coletados mensalmente com auxílio de um laptop (BRANDÃO, 2012).



Figura 3 - Sensor meteorológico (modelo WXT520, Vaisala Inc., Helsinki, Finland).

Para a análise da temperatura do ar, precipitação, umidade relativa e pressão do ar utilizaram-se dados coletados de janeiro a dezembro de 2012.

3.2.9 Análises estatísticas.

A Correlação de Pearson analisou a correlação linear entre as variáveis estudadas. Análise de variância foi utilizada para verificar as diferenças entre os períodos estudados. O Teste t de Student foi utilizado para identificar as diferenças entre as concentrações de CO₂ entre o dia e a noite durante os períodos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MEDIDAS MICROCLIMÁTICAS

A temperatura média do ar durante o período estudado foi $24,59 \pm 2,34^\circ\text{C}$, variando de $19,99^\circ\text{C}$ em julho/12 a $26,86^\circ\text{C}$ em dezembro/12. A média da umidade relativa foi $79,21 \pm 7,44\%$, variando de $63,20\%$ em setembro/12 a $85,07\%$ em janeiro/12 (Figura 4). Observou-se que no período de enchente e cheia, os valores da temperatura do ar e da umidade relativa permanecem praticamente constantes, isto pode ser explicado devido à presença de alta umidade do ar no período, o que propicia melhor condutividade térmica do ar.

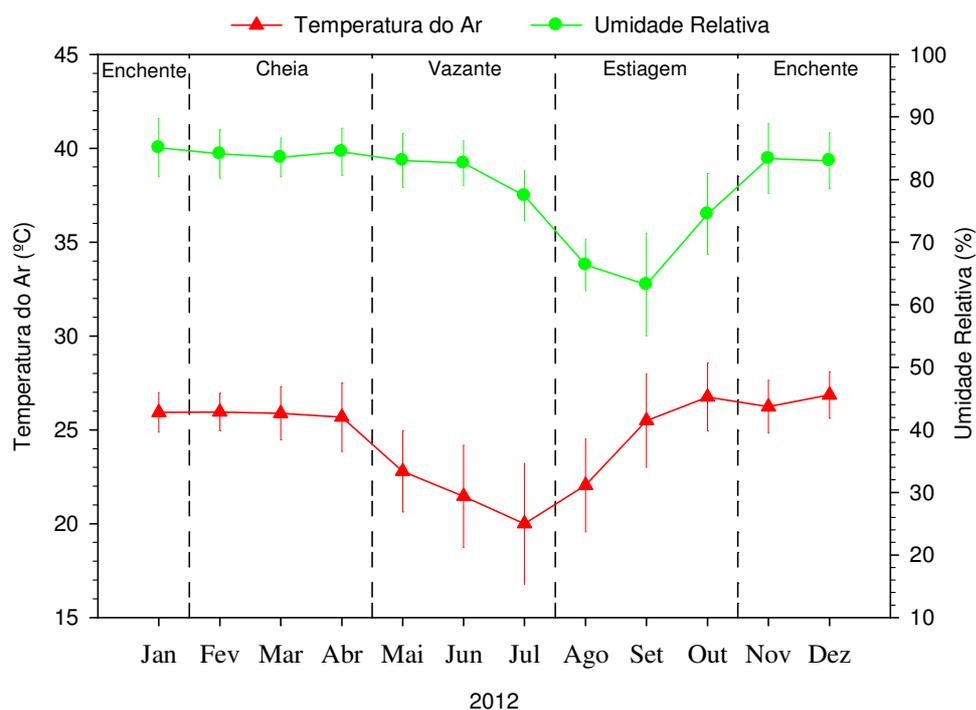


Figura 4 - Média mensal (\pm DP) da temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e da umidade relativa do ar (%), em 2012 em área de interflúvio no Pantanal no município de Poconé.

O maior acúmulo da precipitação ocorreu nos períodos de cheia e enchente, com 400 e 906mm respectivamente, sendo que nos períodos de vazante e estiagem os valores da precipitação foram 179 e 153mm respectivamente (Figura 5). A precipitação acumulada anual foi 1638mm. BRANDÃO (2012) em seu estudo em

uma área de fitofisionomia Cerrado *sensu stricto* no bioma Pantanal, entre novembro/10 a outubro/11, também obteve maior acúmulo da precipitação durante os períodos de cheia e enchente, sendo que a precipitação anual foi 1489mm.

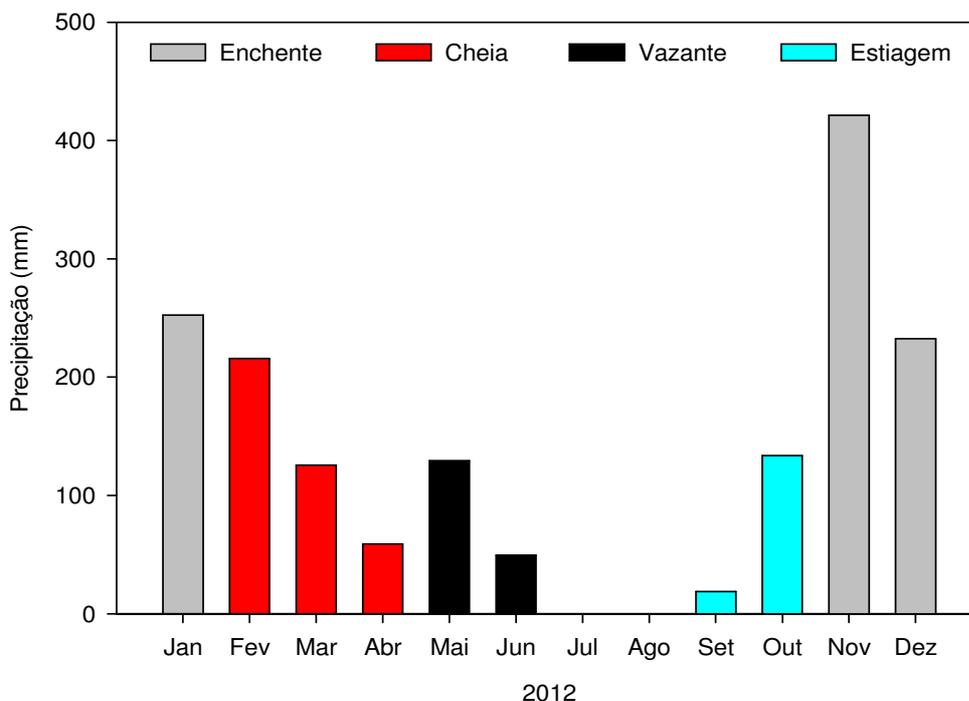


Figura 5 - Precipitação acumulada mensal (mm) em 2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé.

4.2 TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO

A temperatura do solo variou de $21,88 \pm 1,77^\circ\text{C}$ em junho/2012 a $31,36 \pm 0,88^\circ\text{C}$ em outubro/2012, com uma média anual de $27,02 \pm 2,45^\circ\text{C}$ (Figura 6A).

A média anual da umidade do solo foi $14,42 \pm 1,55\%$, variando de $2,06\%$ em agosto/2012 a $32,85\%$ em dezembro/2012 (Figura 6B). No presente trabalho observou-se que a variação da umidade do solo concorda com variação da precipitação no local estudado estando de acordo com as observações de BRUNO (2004) que menciona que a umidade do solo sob o Cerrado varia conforme o regime da precipitação pluviométrica local.

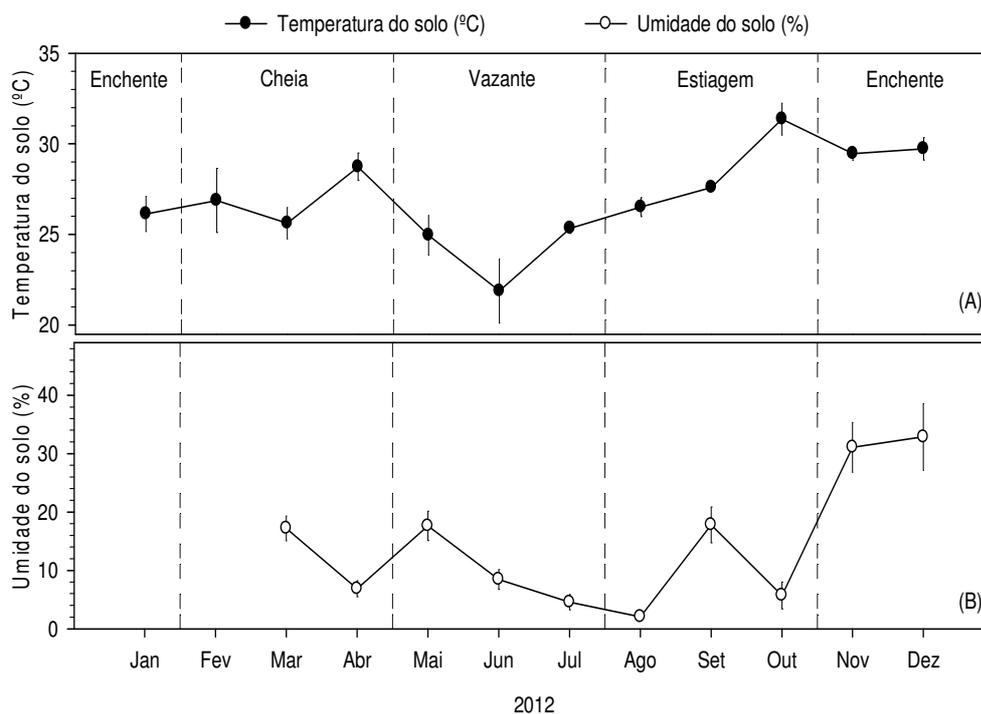


Figura 6 - Média mensal (\pm DP) da temperatura do solo (A) e umidade do solo (B), em área de interflúvio no Pantanal Mato-grossense em 2012.

Observou-se na Figura 6(B) um aumento da umidade do solo em setembro, período de estiagem, devido à precipitação (19,04mm) ocorrida próxima ao dia de coleta de dados.

Os valores de temperatura do solo deste trabalho estão concordando com o apresentado por BRANDÃO (2012), $27,2 \pm 2,01^\circ\text{C}$ em área de Pantanal. Durante a presente pesquisa a temperatura do solo esteve propícia para atividade microbiana (PANOSSO et al., 2009; LA SCALA JR. Et al., 2006).

COELHO (2005) mencionou em seu estudo em uma floresta tropical de transição (cerradão) próximo a cidade de Sinop, Mato Grosso, Brasil, que a amplitude térmica do solo foi superior a 2°C , assim como no presente estudo em que a amplitude térmica foi superior a 2°C .

A temperatura do solo foi maior que a temperatura do ar, ao longo de quase todo o período estudado (Figura 7), diferentemente dos trabalhos realizados por VALENTINI (2004) e NUNES (2003) que apresentaram em seus estudos temperatura do ar maior que a do solo, provavelmente porque no presente estudo a quantidade de serrapilheira no solo é menor que na floresta, sendo assim, o solo fica

mais exposto às variações da temperatura ambiente. Outro fator a se levar em conta, é que a floresta estudada pelos referidos autores é mais densa que o local estudado no presente estudo.

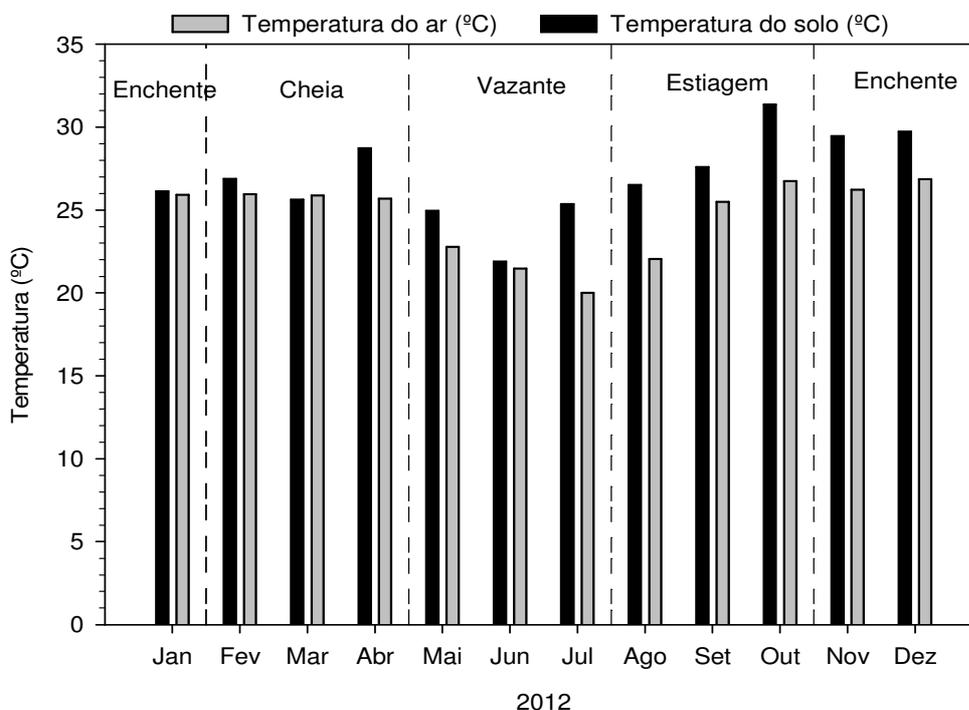


Figura 7 - Médias de temperatura do solo (°C) a 5 cm de profundidade e do ar em 2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé.

4.3 SERRAPILHEIRA ACUMULADA E PRODUZIDA

A decomposição da biomassa vegetal morta é uma fonte de carbono para o solo. A análise da serrapilheira possibilita informações sobre a constância da entrada de carbono no solo. Além disso, a serrapilheira protege o solo contra perda de umidade do solo (SAMPAIO, 2008)

A serrapilheira acumulada variou de 1,1 (abril) a 19,02t ha⁻¹mês⁻¹ (agosto) e um total de serrapilheira acumulada de 56,78t ha⁻¹ano⁻¹. Dentre os componentes principais da serrapilheira acumulada, as folhas responderam por 40%, os galhos 33% e as sementes 27%. A serrapilheira produzida variou de 0,02 (dezembro) a 1,08t ha⁻¹mês⁻¹ (agosto) (Tabela 1) e um total de serrapilheira produzida de

2,92t ha⁻¹ano⁻¹. Dentre os componentes principais da serrapilheira produzida, as folhas responderam por 61%, os galhos 30% e as sementes 9%.

Os maiores valores de serrapilheira acumulada e produzida ocorreram no período de estiagem (Tabela 1). Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por SILVA et al. (2009) em floresta de transição Amazônia-Cerrado, VITAL et al. (2004) em floresta ripária e MAMAN et al. (2007) em Cerrado.

A ocorrência de maior produção de serrapilheira no período de estiagem é influenciada principalmente pelo estresse hídrico, podendo ser uma resposta da vegetação que com a derrubada de folhas reduziria a perda de água por transpiração, principal perda de vapor de água das plantas, ocorre através dos estômatos localizados na folha e é dirigido pela diferença na pressão de vapor entre o espaço interno da folha e a atmosfera (MARTINS e RODRIGUES, 1999; CÉSAR, 1993; HERBOHN e CONGDON, 1993).

Tabela 1 - Folhas, Galhos, Sementes e total da Serrapilheira acumulada (Acum.) e produzida (Prod.) (t ha⁻¹mês⁻¹) de fevereiro a dezembro/2012 em área de interflúvio no Pantanal município de Poconé. *Valores insignificantes.

Mês	Folhas		Galhos		Sementes		Total	
	Acum.	Prod.	Acum.	Prod.	Acum.	Prod.	Acum.	Prod.
Fev	3,27	0,03	1,69	0,06	—*	0,01	5,06	0,10
Mar	0,62	0,13	0,76	0,07	0,32	0,05	1,91	0,26
Abr	0,93	0,12	—*	0,08	0,17	0,05	1,29	0,24
Mai	2,32	0,08	—*	0,19	—*	0,01	2,58	0,28
Jun	2,12	0,02	0,10	0,30	0,72	0,02	3,26	0,34
Jul	1,63	0,21	7,01	—*	0,63	0,01	9,47	0,21
Ago	5,96	0,91	1,46	0,14	11,60	0,03	20,07	1,08
Set	2,61	0,16	1,50	0,02	0,20	0,06	4,49	0,24
Out	2,18	0,08	1,67	0,02	0,78	0,02	4,73	0,12
Nov	0,17	0,03	2,68	—*	0,36	0,00	3,23	0,03
Dez	1,06	0,02	2,13	—*	0,15	0,01	3,36	0,02

4.4 FLUXO DE CO₂ DO SOLO

4.4.1 Variação do fluxo de CO₂

No período de janeiro a dezembro de 2012, a média de fluxo de CO₂ do solo para o local estudado, foi $0,54 \pm 0,30 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$ (Figura 8). O coeficiente de variação foi em torno de 55% para as medidas realizadas, e a média encontrada foi menor que a média anual ($0,63 \pm 0,26 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$) do estudo de BRANDÃO (2012) para o Pantanal Mato-grossense e maior que o valor encontrado por ZANCHI et al. (2012) ($0,38 \pm 0,06 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$) na Reserva Cuieiras, em Manaus - AM (Quadro 1). Isto pode ser justificado pela diferença no tipo de analisador de gás por infravermelho (IRGA) e do tipo de câmara que cada estudo utilizou, além disso, a diferença do local e do ano em que foram realizados esses estudos propiciam condições específicas capazes de gerar medidas distintas, pois se tratando de medidas de fluxo de CO₂, pequenas alterações nas condições micrometeorológicas são suficientes para causar grandes variações nas mensurações.

Dos valores médios mensais de fluxo de CO₂ do solo, o valor máximo foi $1,02 \pm 0,14 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$, e ocorreu em dezembro de 2012, o que pode ser justificado com o retorno da precipitação e com isso aumento da umidade do solo, o que proporciona um desenvolvimento da atividade microbiana do solo e consequente aumento da emissão de CO₂ do solo. O valor mínimo do fluxo de CO₂ do solo foi $0,16 \pm 0,01 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$, e ocorreu em agosto de 2012, consequência da baixa umidade do solo, devido a estiagem da região.

A média do fluxo de CO₂ do solo deste estudo durante o período da cheia foi $0,37 \pm 0,08 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$, para o período da vazante foi $0,30 \pm 0,02 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$, para o período da estiagem foi $0,61 \pm 0,03 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$ e para o período da enchente foi $0,92 \pm 0,13 \text{g(CO}_2\text{)m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Observou-se que houve diferenças estatísticas (ANOVA, $F_{(3,32);1\%} = 50,94$) do fluxo de CO₂ do solo entre os períodos estudados nos horários de coleta (Tabela 2). O fluxo de CO₂ do solo foi maior na enchente, o que também foi observado por BRANDÃO (2012); e menor na vazante, o que difere do resultado encontrado por BRANDÃO (2012), que encontrou o menor valor no período de

estiagem, o que pode ser explicado pelo incremento da umidade do solo em setembro no presente estudo.

DAVIDSON et al. (1998) e SAVAGE E DAVIDSON (2003) também encontraram este pulso na emissão de CO₂ após o rápido umedecimento do solo seco, similar ao encontrado neste estudo.

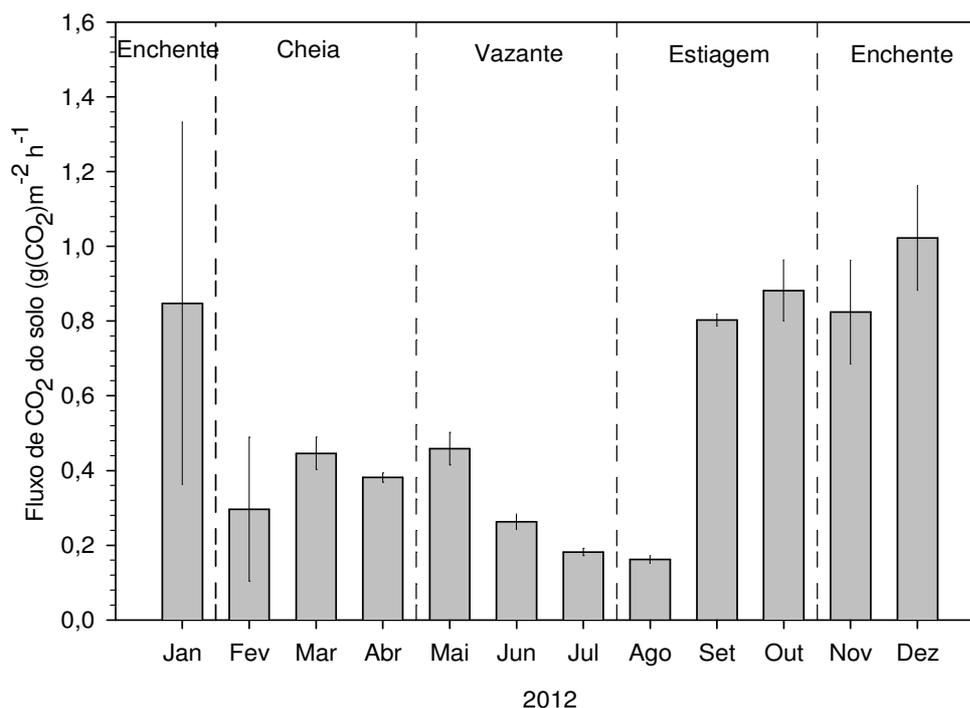


Figura 8 - Fluxo de CO₂ do solo em área de interflúvio no Pantanal no município Poconé em 2012

Tabela 2 - Médias horárias do fluxo de CO₂ do solo (g(CO₂)m⁻²h⁻¹).

Horário Local	Período da Cheia	Período da Vazante	Período da Estiagem	Período da Enchente
8	0,41±0,19	0,26±0,03	0,60±0,06	1,41±0,77
9	0,28±0,11	0,26±0,04	0,58±0,08	0,72±0,15
10	0,30±0,11	0,28±0,04	0,59±0,07	0,71±0,06
11	0,36±0,08	0,29±0,03	0,57±0,06	0,73±0,06
12	0,37±0,09	0,30±0,02	0,68±0,18	0,86±0,30
13	0,38±0,07	0,31±0,03	0,68±0,14	0,88±0,18
14	0,46±0,30	0,31±0,03	0,62±0,10	0,95±0,17
15	0,46±0,14	0,33±0,03	0,60±0,09	0,91±0,20
16	0,38±0,05	0,34±0,03	0,60±0,12	0,92±0,20

Quadro 1 - Estudos realizados do fluxo de CO₂ do solo no Brasil

Autor	Ano	Período	Localização	Fluxo de CO ₂ (g(CO ₂)m ⁻² h ⁻¹)	Equipamento
Coelho (2005)	2004	Final do período da seca	Sinop, MT, Brasil em floresta tropical de transição	0,64*	EGM - 1
Coelho (2005)	2004	Transição seca úmida	Sinop, MT, Brasil em floresta tropical de transição	1,53 ± 0,10*	EGM - 1
Pinto-Jr (2007)	2005	Ano inteiro	Sinop, MT, Brasil em Cerrado e Pastagem	0,87 ± 0,10*	EGM - 2
Ferreira et al. (2008)	2005/2006	Ano inteiro	Fazenda Água Limpa, Brasília, DF, Brasil	0,23*	LI-COR LI-6400-09
Valentini et al (2008)	2003	Ano inteiro	Sinop, MT, Brasil em floresta tropical de transição	1,20 ± 0,08*	LI-COR LI-6400-09
Zanchi et al. (2012)	2007	Chuvosa e Seca	Reserva Cuieiras, Manaus, AM, Brasil	0,38 ± 0,06*	LI-COR LI-8100-101
Zanchi et al. (2012)	2007	Chuvosa e Seca	Reserva Campina, Manaus, AM, Brasil	0,60 ± 0,06*	LI-COR LI-8100-101
Brandão (2012)	2011	Ano inteiro	RPPN Sesc Pantanal, Barão de Melgaço, MT, Brasil	0,63 ± 0,26*	LI-COR LI-6400-09
Presente Estudo	2012	Ano inteiro	RPPN Sesc Pantanal, Poconé, MT, Brasil	0,54 ± 0,30	EGM - 4

*Esses valores foram apresentados originalmente em $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, sendo convertido para $\text{g}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$, pelo fator 6,312.

4.4.2 Fluxo de CO₂ e temperatura do solo

Houve a variação temporal da temperatura do solo e do fluxo de CO₂ do solo. (Figura 9). Observa-se que durante os períodos de estiagem e enchente no Pantanal, quando houve o aumento da temperatura do solo ocorreu um aumento do fluxo de CO₂ do solo e vice-versa. Isto pode ser explicado pelo fato da umidade do solo da área de estudo não ser limitante para a atividade microbiana, e assim o fator limitante para a emissão de CO₂ do solo nesses períodos passa a ser temperatura do solo.

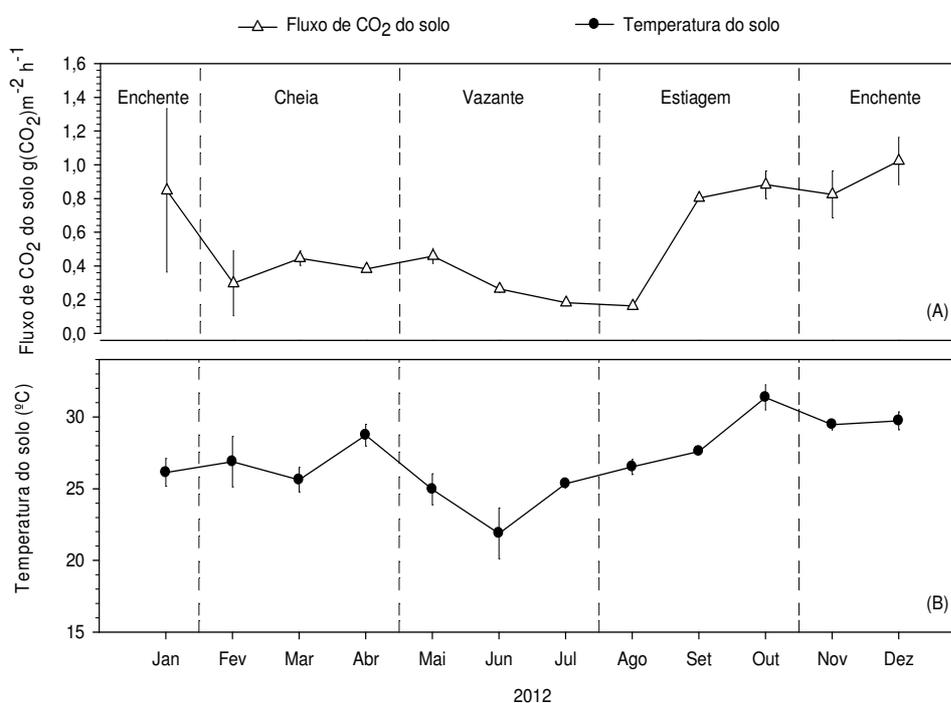


Figura 9 - Média mensal (\pm DP) do fluxo de CO₂ do solo (A) e da temperatura do solo (B) em área de interflúvio no Pantanal no município Poconé em 2012.

O trabalho proposto por WIAANT (1967 *apud* RASTOGI et al., 2002) não observou aumento do CO₂ a 10°C, mas constatou que o fluxo de CO₂ incrementa na mudança de temperatura de 20 e 40°C, sendo que quando a temperatura do solo atinge valores superiores a 50°C o fluxo diminui rapidamente, sendo assim, observa-se que com temperaturas mais altas ocorre a inibição da respiração microbiana.

O fluxo de CO₂ do solo correlacionou-se positivamente e significativamente, com a temperatura do solo ($r=0,67$; $p=0,01^*$) (Figura 10). Este resultado se difere do

resultado encontrado por NUNES (2003), em uma floresta tropical primária, que encontrou, uma relação negativa entre a média da temperatura do solo e o fluxo de CO₂ do solo. Entretanto, COSTA et al. (2008) e ESCOBAR (2007), também observaram correlação positiva entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo. BRANDÃO (2012) encontrou correlação positiva, porém não significativa ($r=0,42$; $p=0,20$), entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo. Nota-se também uma correlação significativa da temperatura do solo a 10 cm ($r=0,79$; $p=0,01^*$) e a 30 cm ($r=0,74$; $p=0,02^*$) sobre o fluxo de CO₂ do solo (Figura 11 e 12). Correlação semelhante ao presente estudo foi relatada por VALENTINI (2003), em que a autora obteve um coeficiente de 0,67.

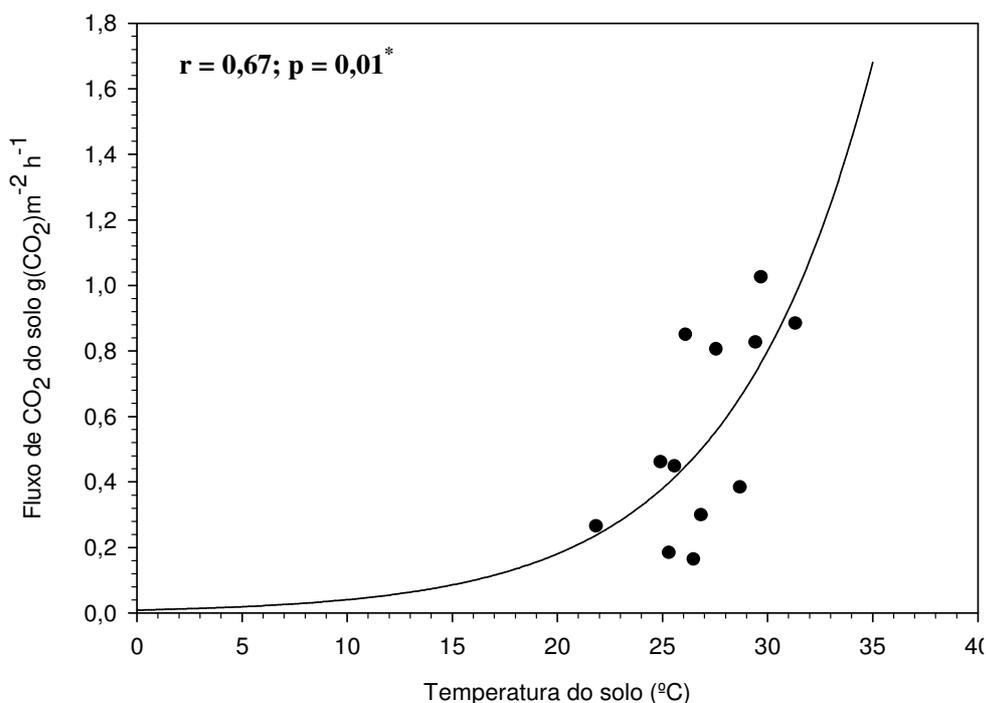


Figura 10 - Resposta da temperatura do solo a 5 cm de profundidade sobre o fluxo de CO₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

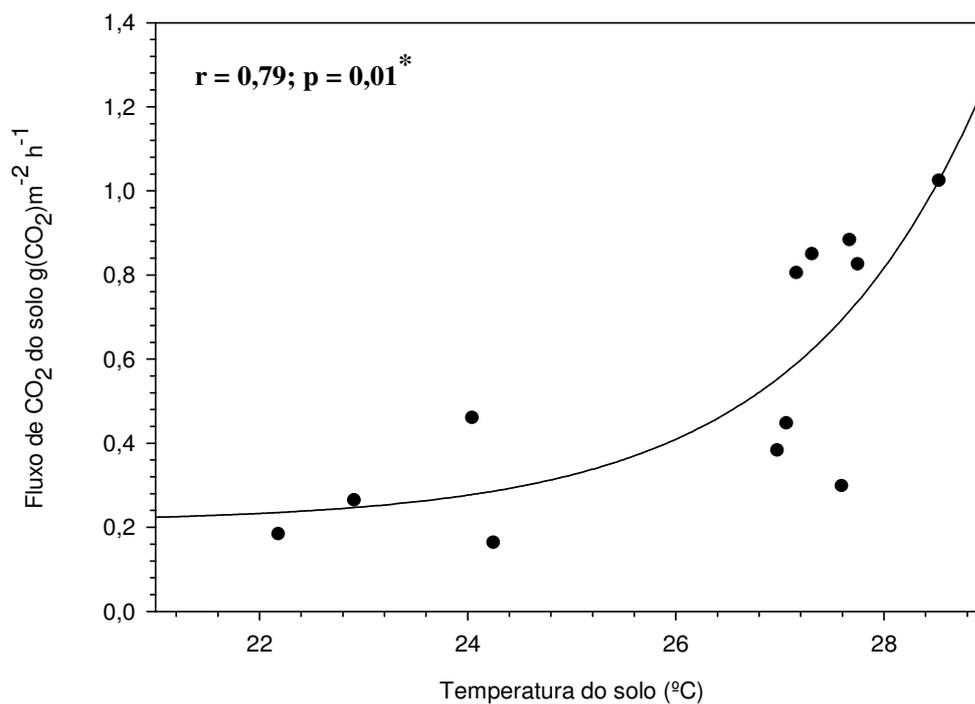


Figura 11 - Resposta da temperatura do solo na profundidade de 10 cm sobre o fluxo de CO₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$)

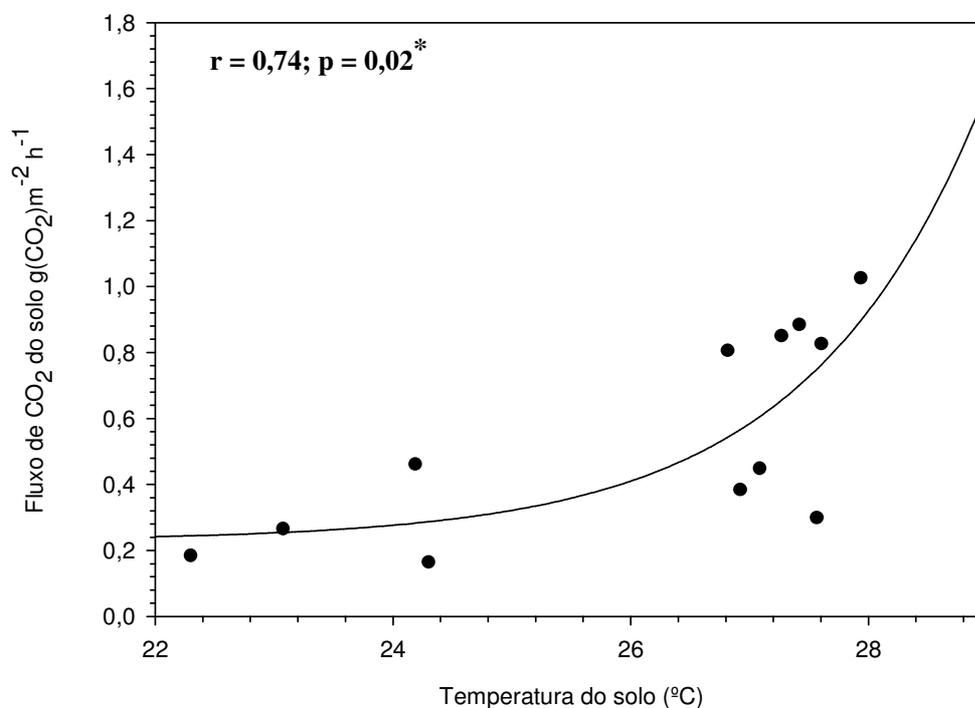


Figura 12 - Resposta da temperatura do solo na profundidade de 30 cm sobre o fluxo de CO₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

4.4.3 Fluxo de CO₂ do solo e umidade do solo

A umidade do solo exerce grande influência na emissão de CO₂ do solo, pois interfere nas características físicas e biológicas do solo. Segundo ROSS (1989), o alto conteúdo de água do solo interfere no fluxo de CO₂ do solo, tanto pela redução da atividade respiratória aeróbica, que é a principal responsável pela emissão de CO₂ do solo, como pelo efeito físico de real impedimento à passagem do CO₂ até atingir a interface solo-atmosfera (BRANDÃO, 2012).

Na Figura 13, observa-se que houve correlação positiva e significativa ($r=0,72$; $p=0,02^*$) entre as médias mensais de umidade do solo e do fluxo de CO₂ do solo.

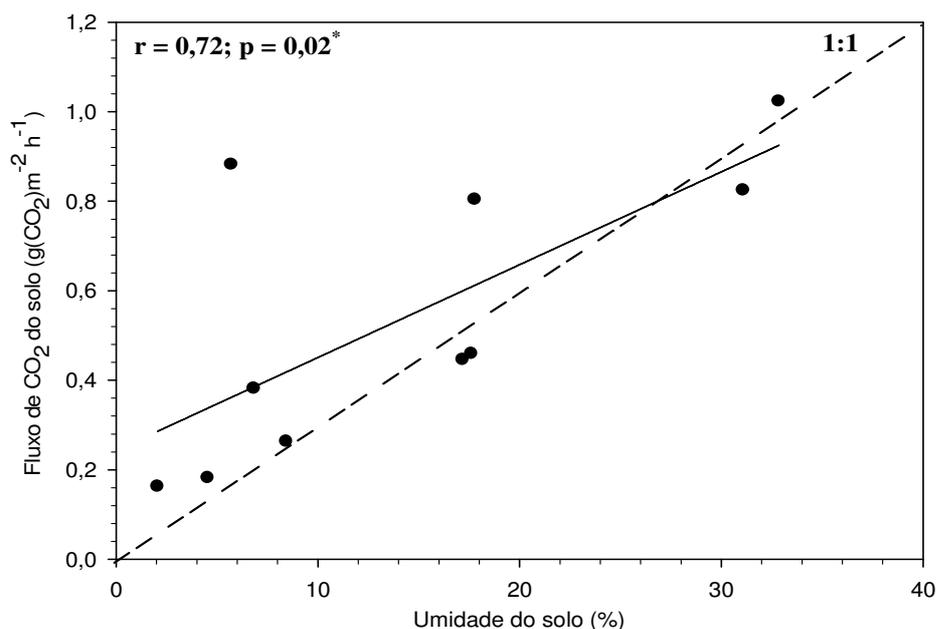


Figura 13 - Resposta da umidade do solo sobre o fluxo de CO₂ do solo. * Correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Em diferentes ecossistemas que há a influência da umidade do solo na emissão de gases do solo, sendo este um dos fatores controladores da quantidade de fluxo de CO₂ do solo (YIM et al., 2003; KANG et al., 2003; CHAMBERS et al., 2004; SOTTA et al., 2004; SOUZA, 2004; VALENTINI, 2004; PINTO-JR, 2007).

Na Figura 14 observou-se que durante os períodos de cheia, vazante e enchente no Pantanal, quando houve a diminuição da umidade do solo houve uma redução do fluxo de CO₂ do solo e vice-versa. Isto indica que a umidade do solo nesses períodos foi um fator limitante para a emissão de CO₂ do solo. Já no período de estiagem, nota-se que não houve a mesma dinâmica observada nos demais períodos, podendo ser explicado pela baixa umidade do solo, que de acordo com YUSTE et al. (2003), limita a respiração microbiana e das raízes.

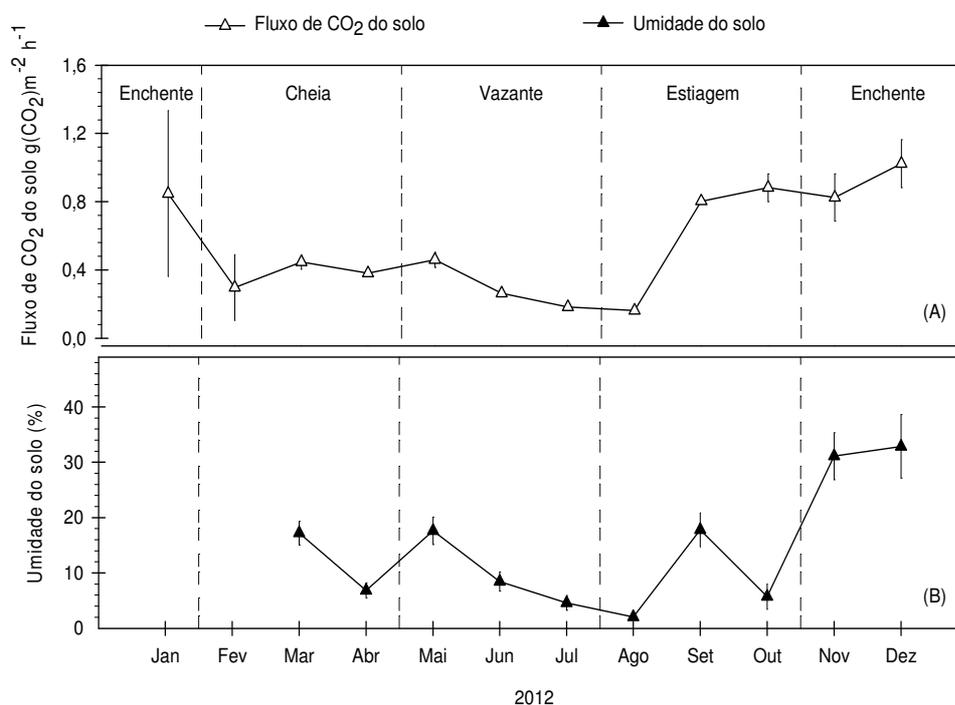


Figura 14 - Média mensal (\pm DP) do fluxo de CO₂ do solo (A) e da umidade do solo (B), os meses de janeiro e fevereiro não foram amostrados dados de umidade do solo.

SOTTA (2004), MANZINI (2002) e CASTRO e KAUFFMAN (1998) relataram a importância da umidade do solo para a liberação ou retenção do fluxo de CO₂ do solo, pois a água drenada para o solo força a saída do CO₂ presente nos poros, e por meio do processo chamado difusão, responsável pelo transporte de gases no solo através dos poros, o CO₂ é emitido para atmosfera.

4.5 CONCENTRAÇÃO DE CO₂ DO SOLO

As concentrações de CO₂ nas profundidades de 10 e 30cm apresentaram maiores valores nos períodos de enchente e cheia com 77703 ± 29012 e 17892 ± 8541 ppm respectivamente, devido à maior umidade do solo e com isso maior produção de CO₂ do solo. Já nos períodos de vazante e estiagem, provavelmente devido a baixa umidade do solo, as concentrações de CO₂, apresentaram menores valores em relação aos outros períodos, com 13081 ± 8180 e 8010 ± 7245 ppm respectivamente. Tal resultado é concordante com BRANDÃO (2012) (Figura 15 e 16).

Por outro lado, MESSIAS (2010) encontrou maiores valores na cheia e vazante a 10cm de profundidade e na cheia e enchente a 30cm, o que difere do presente estudo. Entretanto, no período da estiagem MESSIAS (2010) também encontrou menor valor da concentração de CO₂ nas profundidades de 10 e 30cm. Os solos secos (período de estiagem em ambas as profundidades) podem ser associados a baixas concentrações de CO₂, visto que possuem alta difusividade, permitindo um rápido fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera (MESSIAS, 2010).

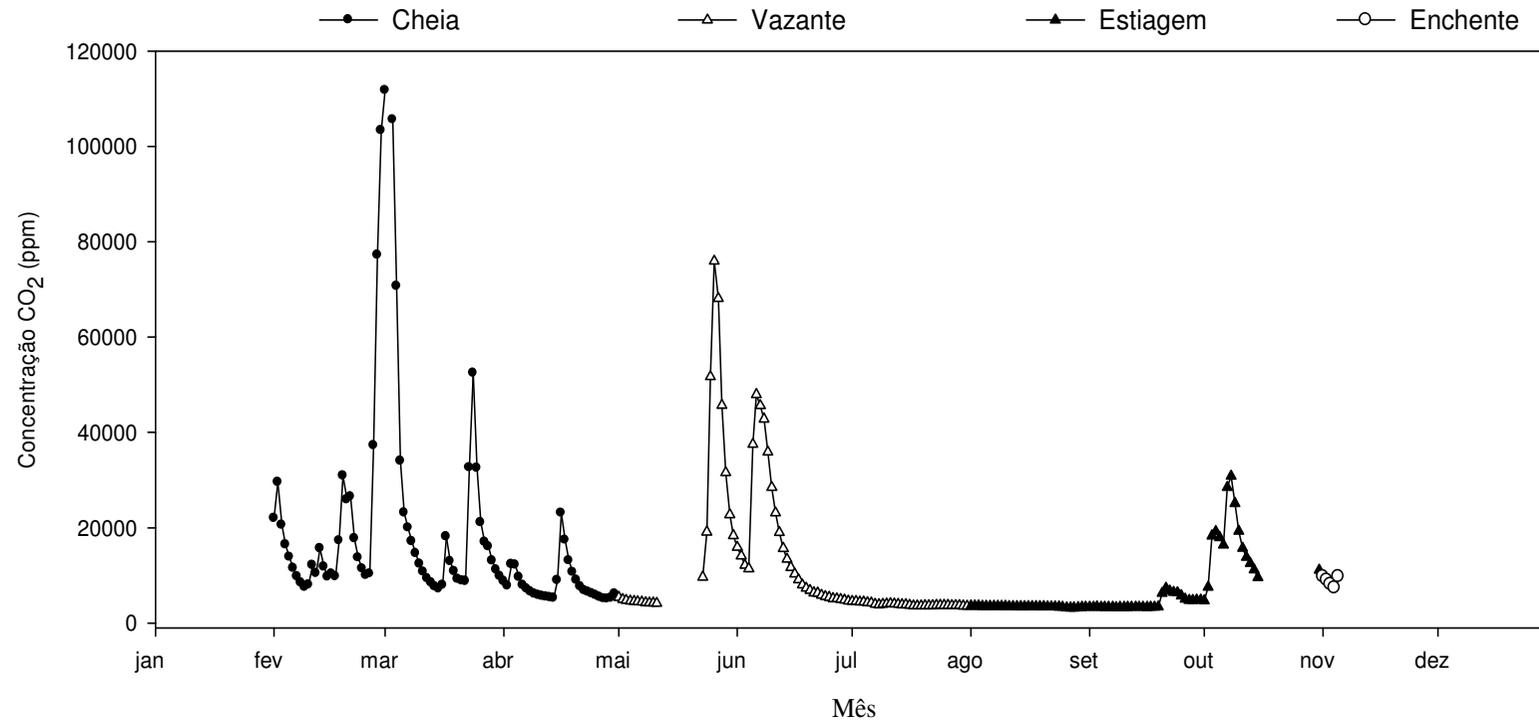


Figura 15 - Concentração de carbono do solo na profundidade de 10 cm, durante as estações de cheia, vazante, estiagem e enchente.

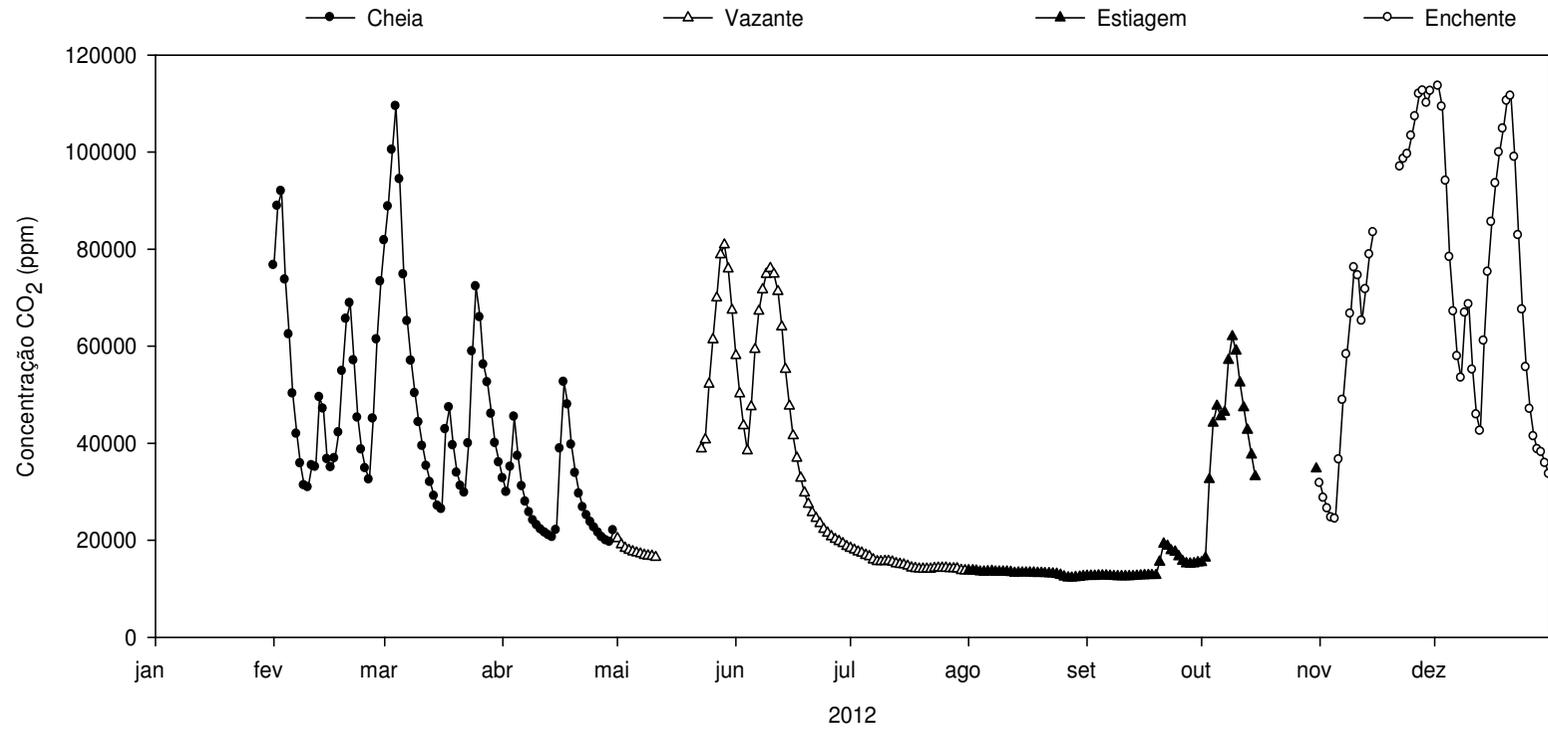


Figura 16 - Concentração de carbono do solo na profundidade de 30 cm, durante as estações de cheia, vazante, estiagem e enchente.

A variação da concentração de CO₂ a 10cm da superfície do solo no período da cheia (t-Student, 1,10; 23; 5%) e enchente (t-Student, 0,60; 23; 5%) não tiveram diferenças estatísticas quando testadas a interação entre o período diurno e noturno, entretanto no período da vazante (t-Student, 2,39; 23; 5%) e estiagem (t-Student, 3,27; 23; 5%) foram encontradas diferenças entre os períodos, sendo que na vazante a variação da concentração de CO₂ foi maior durante o dia e na estiagem maior durante a noite.

A variação da concentração de CO₂ a 30cm da superfície do solo no período da vazante (t-Student, 1,18; 23; 5%), estiagem (t-Student, 1,71; 23; 5%) e enchente (t-Student, 0,12; 23; 5%) não tiveram diferenças estatísticas durante os períodos diurnos e noturnos, já no período da cheia (t-Student, 2,70; 23; 5%) a variação da concentração de CO₂ foi maior durante a noite.

Analisando a resposta da concentração de CO₂ do solo sobre o fluxo de CO₂ do solo, observou-se correlações positiva e significativa somente para o período da vazante a 10cm ($r = 0,88$; $p = 0,008^{**}$) e 30cm ($r = 0,79$; $p = 0,03^*$) da superfície do solo (Figura 17 e 18), que de acordo com BRANDÃO (2012) indica uma relação direta entre essas variáveis.

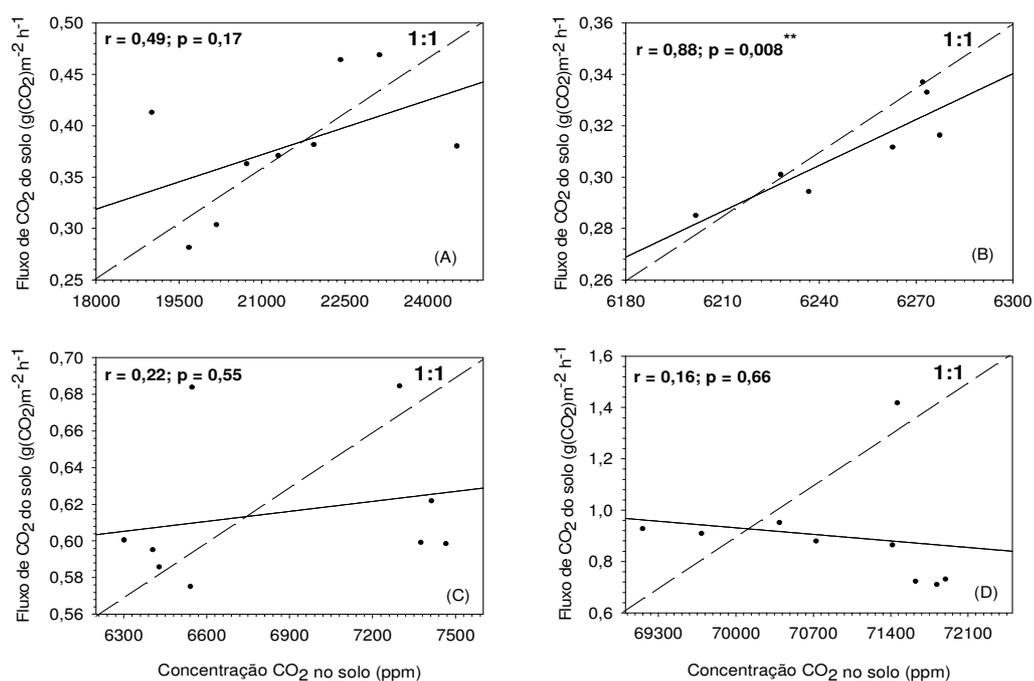


Figura 17 - Resposta da concentração de CO₂ do solo na profundidade de 10cm sobre o fluxo de CO₂ do solo, durante os períodos de cheia (A), vazante (B), estiagem (C) e enchente (D). ** correlação significativa ao nível de 1% ($p < 0,01$); * correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

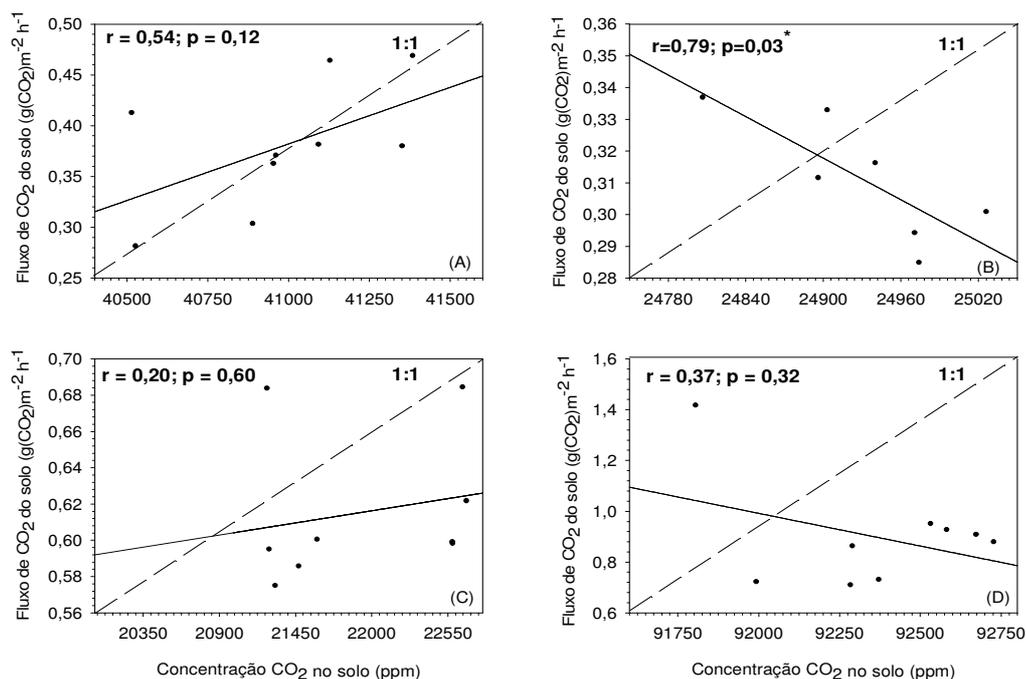


Figura 18 - Resposta da concentração de CO₂ do solo na profundidade de 30cm sobre o fluxo de CO₂ do solo, durante os períodos de cheia (A), vazante (B), estiagem(C) e enchente (D). ** correlação significativa ao nível de 1% ($p < 0,01$); * correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$).

4.6 ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

O estoque anual de carbono do solo foi $57,27 \pm 9,77 \text{ t ha}^{-1}$, variando de $41,48 \pm 8,00 \text{ t ha}^{-1}$ em setembro a $80,47 \pm 24,38 \text{ t ha}^{-1}$ em fevereiro/12. A densidade do solo determinada foi $1,63 \text{ g cm}^{-3}$. Observou-se que os maiores estoques de carbono ocorreram nos períodos de cheia e enchente, com $63,56 \pm 14,94$ e $57,45 \pm 6,93 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente, sendo que os períodos de vazante e estiagem observou-se os menores valores, $52,95 \pm 4,47$ e $55,12 \pm 11,83 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente (Figura 19). Estudos realizados em áreas do Pantanal Mato-grossense, na região de Barão de Melgaço, por MENDES (2009) estimou o estoque médio anual de carbono do solo em $89,9 \pm 25,1 \text{ t ha}^{-1}$, MILESI (2010) encontrou uma média anual de $39,08 \pm 16,62 \text{ t ha}^{-1}$.

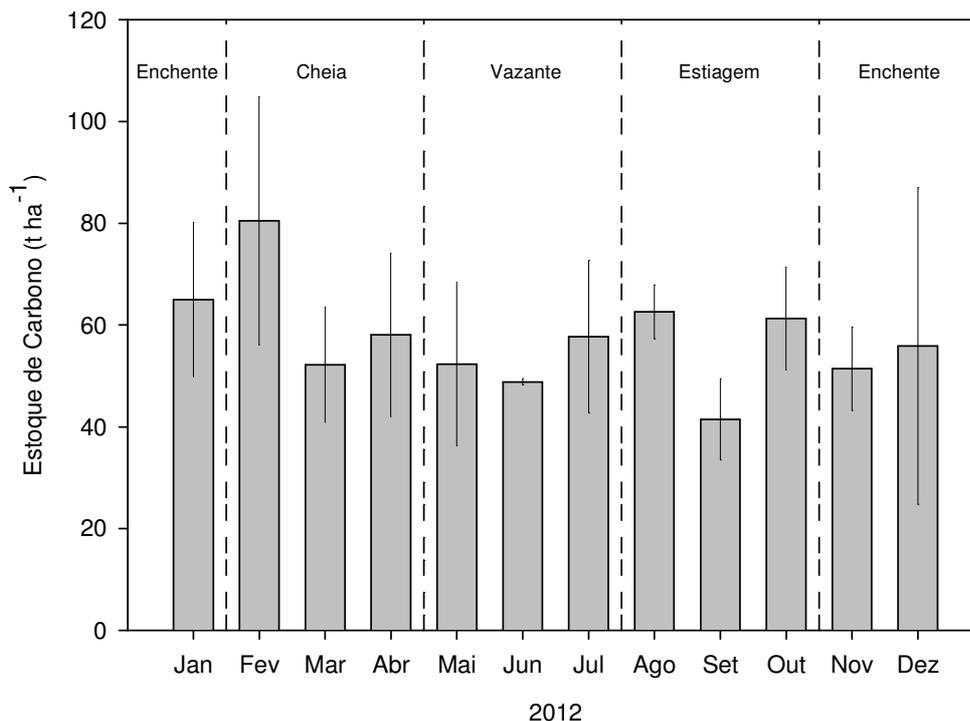


Figura 19 - Média mensal (\pm DP) do estoque de carbono orgânico do solo em 2012 em uma área de interflúvio no Pantanal município de Poconé.

Em comparação com o estudo de MILESI (2010), a qual estudou quatro ecossistemas distintos: Cambarazal, Cordilheira, Espinheiral e Floresta Riparia, situados na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) SESC Pantanal, no município de Barão de Melgaço, Nordeste do Pantanal de Mato Grosso, foi observado que nas áreas de Cordilheira e de Floresta Ripária, que são regiões com semelhança com o local deste estudo, pela característica do nível de alagamento baixo, ocorreram os maiores estoques de carbono do solo no período da cheia e enchente, assim como no presente estudo. (Tabela 3).

Compreende-se assim, que provavelmente os menores valores do estoque de carbono, nos períodos de cheia e enchente, encontrados em áreas que são sazonalmente inundadas, estão associados diretamente ao aumento da profundidade da lâmina d'água, processo esse que dificulta a ação do vento e a consequente circulação dos gases (SILVA e ESTEVES, 1995).

SCHONGART et al. (2008) e MENDES (2009) relataram em seus estudos, em locais de alagamento do Pantanal, que essas áreas funcionam como reservatório constante de carbono no solo.

Tabela 3 - Estoque de Carbono do solo em diferentes fitofisionomias do RPPN Sesc Pantanal, Barão de Melgaço (MILESI, 2010) e em área de interflúvio no município de Poconé, no Pantanal Mato-grossense.

Autor	Período	Localização	Cheia	Vazante	Estiagem	Enchente
			Estoque (t ha ⁻¹)			
Milesi (2010)	Julho/2008- Junho/2009	Cambarazal	54,53	35,68	64,78	77,55
Milesi (2010)	Julho/2008- Junho/2009	Cordilheira	26,16	14,38	16,42	17,14
Milesi (2010)	Julho/2008- Junho/2009	Espinhai	35,94	31,24	54,85	61,49
Milesi (2010)	Julho/2008- Junho/2009	Floresta Ripária	31,3	26,91	29,62	54,89
Presente estudo	2012	Interflúvio	63,56±14,94	52,95±4,47	55,12±11,83	57,45±6,93

O balanço do estoque de carbono do solo a 10cm de profundidade no período de janeiro a dezembro de 2012 foi negativo, com valor estimado de $-9,10\text{ t ha}^{-1}$ o que sugere que o solo atuou como provável fonte de CO_2 para a atmosfera (Figura 20). O que difere do estudo proposto por MILESI (2010), que relatou em seu trabalho que os solos estudados por ela, funcionam como drenos de carbono. MENDES (2009) menciona que o estoque de carbono total do solo associado à sazonalidade ocorrida no Pantanal foi positivo, proporcionando incorporação do carbono orgânico do solo.

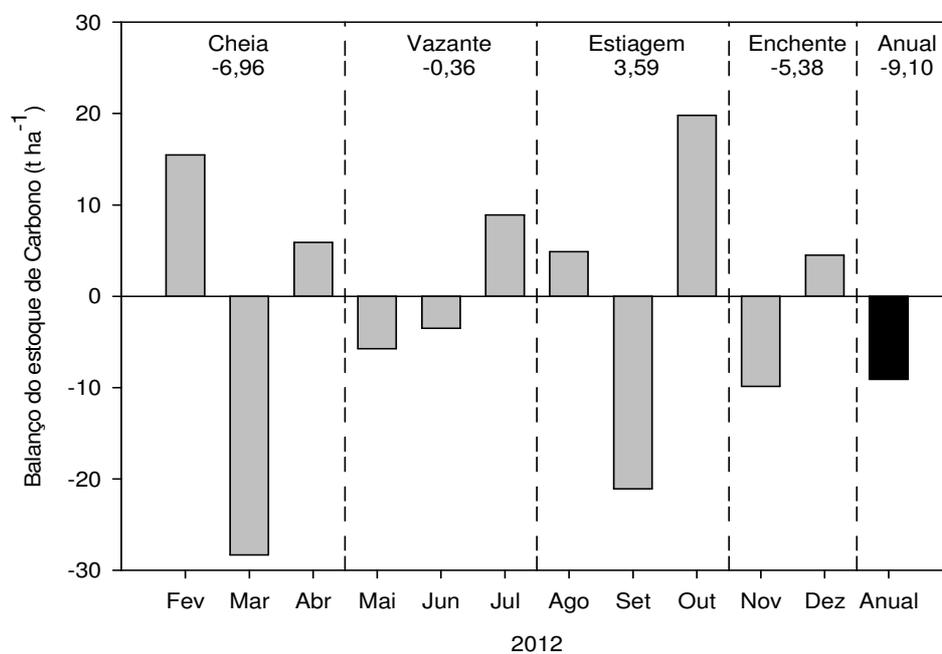


Figura 20 - Balanço do estoque de carbono do solo.

O balanço de estoque de carbono no período da cheia foi negativo em relação ao período anterior (janeiro, estoque inicial) com valor estimado de $-6,96\text{t ha}^{-1}$, durante o período da vazante e enchente também foram negativos em relação aos períodos anteriores (cheia e enchente respectivamente) com valores estimados de $-0,36\text{t ha}^{-1}$ e $-5,38\text{t ha}^{-1}$ respectivamente (Figura 20). O balanço de estoque de carbono no período da estiagem foi positivo em relação ao período anterior (vazante) com valor estimado de $3,39\text{t ha}^{-1}$. Os valores negativos indicam que o estoque de carbono do solo diminuiu em relação ao período anterior e os valores positivos indicam que aumentou.

Na Tabela 4, observou-se que o fluxo de CO_2 do solo correlacionou de forma significativa ($p < 0,05$) com a concentração de CO_2 a 30cm de profundidade, com a umidade do solo e com a temperatura do solo a 5cm de profundidade e muito significativa ($p < 0,01$) com a temperatura do solo a 10 e 30cm de profundidade. Entretanto, com a serrapilheira, concentração de CO_2 a 10cm e estoque de carbono do solo não houve correlação significativa. VALENTINI (2004) relatou em seus estudos que o fluxo de CO_2 apresentou uma correlação negativa com a produção da serrapilheira ($r = -0,224$), valor aproximado ao presente trabalho.

O estoque de carbono não se correlacionou significativamente com nenhuma das variáveis estudadas, sugerindo que outras variáveis estariam influenciando a dinâmica do estoque de carbono do solo (Tabela 4).

Tabela 4 - Matriz de correlação das variáveis estudadas: Fluxo de CO₂ (g(CO₂)m⁻²h⁻¹); Estoque de carbono (t ha⁻¹); Concentração de CO₂ (10cm) (ppm); Concentração de CO₂ (30cm) (ppm); Serrapilheira acumulada e produzida (t ha⁻¹mes⁻¹); Umidade do solo (%); Temperatura do solo (5cm) (°C); Temperatura do solo (10cm) (°C); Temperatura do solo (30cm) (°C).

	Fluxo de CO ₂	Estoque de Carbono	Conc. de CO ₂ (10cm)	Conc de CO ₂ (30cm)	Serrapilheira (Acumulada e Produzida)	Umid. do solo	Temp. do solo (5cm)	Temp. do solo (10cm)	Temp. do solo (30cm)
Fluxo de CO ₂	1								
Estoque de Carbono	-0,225	1							
Conc. de CO ₂ (10cm)	0,507	-0,020	1						
Conc de CO ₂ (30cm)	0,595*	0,217	0,785**	1					
Serrapilheira (Acumulada e Produzida)	-0,450	0,266	-0,324	-0,552	1				
Umid. do solo	0,718*	-0,432	0,810**	0,778**	-0,495	1			
Temp. do solo (5cm)	0,652*	0,142	0,277	0,202	-0,110	0,309	1		
Temp. do solo (10cm)	0,738**	0,180	0,414	0,565	-0,415	0,599	0,739**	1	
Temp. do solo (30cm)	0,708**	0,211	0,427	0,579*	-0,425	0,582	0,717**	0,997**	1

** correlação significativa ao nível de 1% ($p < 0,01$)

* correlação significativa ao nível de 5% ($p < 0,05$)

5. CONCLUSÃO

- No estudo o solo atuou como provável fonte de carbono no Pantanal Matogrossense, sendo que o valor estimado para o balanço de carbono foi de $-9,11\text{t ha}^{-1}$.
- A média mensal de fluxo de CO_2 do solo foi $0,54 \pm 0,30\text{g}(\text{CO}_2)\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$.
- Houve variação sazonal do fluxo de CO_2 do solo, com menores valores no período da vazante e os maiores no período da enchente.
- Entre o fluxo de CO_2 do solo e a umidade do solo houve correlação positiva e significativa.
- Houve correlação positiva e significativa entre o fluxo de CO_2 do solo e a temperatura do solo nas profundidades de 5, 10 e 30 cm.
- Entre a concentração de CO_2 do solo a 30 cm de profundidade e o fluxo de CO_2 do solo houve correlação positiva e significativa.
- A serrapilheira acumulada no presente estudo foi $56,78\text{t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e produzida foi $2,92\text{t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$.
- O estoque anual de carbono do solo foi $57,27 \pm 9,77\text{t ha}^{-1}$.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E.M. Determinação do estoque de carbono em Teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. Cuiabá: FAMEV. p. 16-22. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) FAMEV/UFMT. 2005.

ARIEIRA, J.; KARSSENBERG, D.; JONG, S.M.; ADDINK, E.A.; COUTO, E.G.; CUNHA, C.N.; SKØIEN, J.O. Integrating field sampling, geostatistics and remote sensing to map wetland vegetation in the Pantanal, Brazil. **Biogeosciences**, v.8, p.667–686, 2011.

BATJES, N.; Management Options for Reducing CO₂-Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil, **International Soil Reference and Information Centre**: Wageningen. 1999.

BIUDES, M.S. Balanço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal. 2008. 142p. Tese (Doutorado em agricultura tropical). Faculdade de Agronomia e medicina veterinaria, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

BRANDÃO, A.B. Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal Mato-grossense. 59p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E. et al. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water conservations**, v. 05, p. 382-389, 1999.

BRUN, E. J. et al. P. Relação entre a produção de serrapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 277-285, dez., 2001.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; SANTOS S. A.; SOUZA G. S. Propriedades químicas do solo inundado periodicamente pelo Riozinho, Pantanal da Nhecolândia In: IVSIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2004, Corumbá (MS). Anais. Corumbá: IV SINPAM.

CASTANHO, C. T. Fatores determinantes no processo de decomposição em florestas no Estado de São Paulo. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto; Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005.

CHAMBERS, J.Q.; TRIBUZY, E.S.; TOLEDO, L.; CHISPIM, B.F.O.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAUJO, A.C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S.E. Respiration from a tropical forest ecosystem partitioning of sources and low carbon use efficiency. **Ecological Application**, v. 14, p. S72-S88, 2004.

COELHO, M.M. Estudo da respiração do solo em floresta de transição do sudoeste da Amazônia. 46p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

CORSINI, E.; GUARIM NETO, G. Aspectos ecológicos da vegetação de "carvoal" (*Callisthene fasciculata* (Spr.) Mart.) no pantanal mato-grossense. In: III SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1,2000, Corumbá (MS). Anais. Corumbá: III SINPAM, p. 1-52, 2000.

COSTA, F. S. et al. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**. v.36, n.2, p.693-700, 2006.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.323-332, 2008.

DE BONA, F.D.; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, 2006.

DAVIDSON, E.A., SAVAGE, K., VERCHOT, L.V. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, p. 21-37, 2002.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. **Forest, Ecology and Management**, v.202, p.149-160, 2004.

ESCOBAR, L. F. Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. 2007. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ESWARAN, H., BERG, E.V.D., Reich, P., 1993. Organic carbon in soil of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 192–194

FERNANDES, M. M. et al. Aporte e decomposição de serrapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 163-175, abr./jun. 2006.

FERREIRA, E.A.B.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C. Influência das variações ambientais sobre o fluxo de CO₂ em solos de Campo Úmido no Cerrado. IN: II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2008, Brasília. **Anais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

GOMES, A.S.; CUNHA, N.S.; PAULETTO, E.A.; et al. Solos de várzea: Uso e Manejo. In: MARCANTONIO, G. **Solos e irrigação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1992. p.64-79.

HAASE, R. Litterfall and nutrient return in seasonally flooded and nonflooded forest of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. **Forest Ecology and Management**. V. 117, p.129-147, 1999.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. O clima na RPPN SESC Pantanal: relatório técnico. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, **Centro de Ecologia**, 2003. 31 p.

HERBOHN, J.L.; CONGDON, R.A. Ecosystem dynamics Attica, disturbed and undisturbed sites in north Queensland wet tropical rain forest, litterfall. **Journal of tropical ecology**, Winchelsea, UK, v.9, p.365-380, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de pedologia. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2007.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain-systems. **Canadian Special Publications for Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 106, n. 1, p. 110-127, 1989.

JUNK W.J. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 4, p. 414-435, 2002.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, v. 24, n. 4, p. 391-401, 2005.

KANG, S.; DOH, S.; LEE, D.; LEE, D.; JIN, V.L.; KIMBALL, J. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, v.9, p.1427-1437, 2003.

LA SCALA, N., BOLONHEZI, D., PEREIRA, G.T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil Till. Res.** 91, 244–248, 2006.

LAL, R., 2006. World soils and greenhouse effect: an overview, in Soils and global change. **Encyc. Soil. Sci** doi:10.1081/E-ESS-120042696.

LEADY, B. S.; GOTTGENS, J. S. Mercury accumulation in sediment cores and long food chains in two regions of the Brazilian Pantanal. **Wetlands Ecology and Management**, v. 9, n. 4, 349-361, 2001.

MACHADO, P.L.O.A, Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química nova**. V.28, p. 329-334, 2005

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research** . v. 103, p. 31.593-31.612, 1998.

MARTINS, S.V.; RODRIGUES, R.R. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.22, n.3, p.405-412, 1999.

MAMAN, A.P.; SILVA, C.J.; SGUAREZI, E.M.; BLEICH, M.E. Produção e acúmulo de serrapilheira e decomposição foliar em Mata de Galeria e Cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.5, n.1, p.71- 84, 2007. p. 79.

MENDES, J.D. Distribuição espacial do estoque de carbono orgânico no solo e na biomassa vegetal lenhosa, em três fisionomias no Pantanal Norte, Mato Grosso, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) UFMT, 2009.

MESSIAS, I.A.M. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipersazonal no Pantanal de Barão de Melgaço. 57p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

MILESI, J. Análise temporal do carbono orgânico de solos sob diferentes fitofisionomias do Pantanal Mato-Grossense. 56p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

NASCIMENTO, M. T.; NUNES DA CUNHA, C. Estrutura e composição florística de um cambarazal no Pantanal de Poconé - MT. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p.3-11, 1989.

NOBRE, C.A.; FISCH, G., ROCHA, H.R.; LYRA, R.F.F.; ROCHA, E.P.; COSTA, A.C.L.; UBARANA, V.N. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. New York: J. M. Wiley and Sons, 1996, p. 413-424.

NOGUEIRA, F. M. B. Seasonal and daily limnological differences in a tropical floodplain lake (Pantanal of Mato Grosso, Brazil). In: **Proceedings of the VI. Intecol**. Quebec, Canadá, August. p. 247, 2000.

NOGUEIRA, F.; COUTO, E. G.; BERNARDI, C. J. Geostatistics as a tool to improve sampling and statistical analysis in wetlands: A case study on dynamics of organic matter distribution in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** [S.I.], v. 62, n. 4 B, p. 861-870, 2002.

NUNES, P.C. Influência do efluxo de CO₂ do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril. 68p. Dissertação (Mestrado em

Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR., N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, v. 105, p. 275–282, 2009.

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SOUSA, R.O.; et al. Manejo de solos de várzea. IN: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. **Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 1999. p.61-87

PINTO-JR, O.B. Efluxo de CO₂ do Solo em Floresta de Transição Amazônica Cerrado e em Área de Pastagem. 79p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

RASTOGI, M., SINGH, S. AND PATHAK, H. 2002. Emission of carbon dioxide from soil. **Current Science** 82:510–517.

ROSS, S. Soil Processes: A systematic approach. **Routledge**, New York, U.S.A. 444 p. 1989.

ROZENZWEIG, C.; E HILLEL, D. Soil and global climate change: challenge and opportunities. **Soil Science**, New York, v. 165, p. 47-56, 2000.

SAMPAIO, I. C. G. Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2008

SANTOS, R.D.; CARVALHO FILHO, A.; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTTA P.E.F.; BARUQUI, A.M.; BARRETO, W.O.; MELO, M.E.C.C.M.; PAULA, J.L.; SANTOS, E.M.R.; DUARTE, M.N. Pedologia. In: Plano de conservação da Bacia do

Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, 1997. p.127-307. v.2, t.1.

SCHOLES, M.C.; POWLSON, D. & TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, 79:25-47, 1997.

SCHONGART, J.; ARIEIRA, J.; FORTES, C.F.; CUNHA, C.N. da.. Carbon dynamics in aboveground coarse wood biomass of wetland forests in the northern Pantanal, Brazil. **Biogeosciences** (Katlenburg-Lindau), 2008.

SEGNINI, A.; SANTOS, L. M.; SILVA, W. T. L.; MARTIN-NETO, L.; BORATO, C. E.; MELO, W. J.; BOLONHEZI, D. Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). *Química Nova*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 94-97, 2008.

SILVA, C.J.; ESTEVES, F.A. Dinâmica das características limnológicas das baías Porto de Fora e Acurizal (Pantanal de Mato Grosso) em função da variação do nível da água. **Oecologia Brasilensis**. P.47-60, Rio de Janeiro, 1995.

SILVA, M. S. C. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ. 2006. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

SILVA, C.J.; SANCHES, L.; BLEICH, M.E.; LOBO, F.A. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v.39, n.3, p.591-600, 2009.

SHI, X.Z., YANG, R.W., WEINDORF, D.C., WANG, H.J., YU, D.S., HUANG, Y., PAN, X.Z., SUN, W.X., ZHANG, L.M., 2010a. Simulation of organic carbon dynamics at regional scale for paddy soils in China. **Climatic Change** 102, 579–593.

SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. especial, p. 1703-1711, 1998.

SOTTA, E.D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A.D.; HODNETT, M.G.; GRACE, J. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the Central Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 601-617, 2004.

SOUZA, J.S. Dinâmica espacial e temporal do fluxo de CO₂ do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2004.

TANG, Guiliang; REINHART, Brenda J.; BARTEL, David P. and ZAMORE, Phillip D. A biochemical framework for RNA silencing in plants. **Genes and Development**, January 2003, vol. 17, no. 1, p. 49-63.

VAISALA OYJ. Vaisala CARBOCAP Carbon Dioxide Transmitter Series User's Guide, Helsinki, Finland. 2008.

VALENTINI, C.M.A. Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso. 81p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

VALENTINI, C.M.A.; SANCHES, L.; PAULA, S.R.; VOURLITIS, G.L.; NOGUEIRA, J.S.; PINTO JR. O.B., LOBO F.A. Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, 113.2008

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

VITAL, A. R. T. et al. Produção de serrapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, nov./dez. 2004.

WAGAI, R.; BRYE, K.R.; GOWER, S.T.; NORMAN, J.M.; BUNDY, L.G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1501-1509, 1998.

WEBER, O. L. S. S., COUTO, E.G; SCARAMUZZA, J.F; GAIVA, H. N. LOPES, F. R. M; OLIVEIRA J. A. Teores de minerais em pastagens nativas do Pantanal mato-grossense. **Relatório de Pesquisa apresentado à FAPEMAT** em outubro, 2005. Cuiabá: UFMT, p. 30, 2005.

WIANT, H. V. JR. 1967. Influence of temperature on the rate of soil respiration. **Journal of Forestry**, v. 65, 489-490.

YIM, M.H.; JOO, S.J.; SYODOU, K; NAKANE, K. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points requerid. **Forest Ecology and Management**, v. 175, n. 1-3, p. 585-588, 2003.

YUSTE, J.C; JANSSENS, I.A; CARRARA, A; MEIRESONNE, L; CEULEMANS, R. Interactive effects of temperature and precipitation on respiration in a temperature maritime pine forest. **Tree Physiology**, v. 23, p. 1263-1270, 2003.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; KRUIJT, B.; KESSELMEIER, J.; LUIZÃO, F. J.; MANZI, A. O.; DOLMAN, A. J. Soil CO₂ efflux in central Amazonia: environmental and methodological effects. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 2, p. 173-184, 2012.

ZECH, W.; HAUMAIER, L.; HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCARTHY, P.; CLAPP, C. E.; MALCOM, R. L.;

BLOOM, P. R. (Eds.). Humic substances in soil and crop sciences: selecting readings. **Madison: ASA/SSSA**, p. 187-220, 1990.