

Dinâmica Sazonal do Carbono em Campo Úmido do Cerrado





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Agosto, 2006

Documentos 164

Dinâmica Sazonal do Carbono em Campo Úmido do Cerrado

Maria Lucia Meirelles
Eloisa Aparecida Belleza Ferreira
Augusto César Franco

Planaltina, DF
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Shirley da Luz Soares

Capa: *Wellington Cavalcanti*

Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

Jaime Arbués Carneiro

1ª edição

1ª impressão (2006): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação na publicação.

Embrapa Cerrados.

M514d Meirelles, Maria Lucia.

Dinâmica sazonal do carbono em campo úmido do Cerrado / Maria Lucia Meirelles, Eloisa Aparecida Belleza Ferreira, Augusto César Franco. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

32 p. — (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 164).

1. Ecologia vegetal. 2. Variação sazonal. 3. Cerrado. I. Ferreira, Eloisa Aparecida Belleza. II. Franco, Augusto César. III. Título. IV. Série.

551.5 - CDD 21

© Embrapa 2006

Autores

Maria Lucia Meirelles

Bióloga, D.Sc.

Embrapa Cerrados

lucia@cpac.embrapa.br

Eloisa Aparecida Belleza Ferreira

Eng. Agrôn., M.Sc.

Embrapa Cerrados

eloisa@cpac.embrapa.br

Augusto César Franco

Biólogo, Ph.D.

Universidade de Brasília, Departamento de Botânica,

Laboratório de Fisiologia Vegetal, Brasília, DF

Tel: (61)3307-2141

acfranco@unb.br

Agradecimentos

A todos que contribuíram no desenvolvimento do projeto de pesquisa que permitiu a obtenção dos dados apresentados nesta publicação. Principalmente aos pesquisadores Roberto Engel Aduan[‡] (Embrapa Cerrados) e Alexandre Nunes Cardoso (Embrapa Sede), nos fluxos de CO₂ do solo; Celso Von Randow, na obtenção dos fluxos de CO₂ vegetação-atmosfera; Solange Rocha Monteiro de Andrade (Embrapa Cerrados) e Iêda Nunes Cornélio, nos estudos bioquímicos. Aos bolsistas José Luciano Marra dos Santos, Gisele Martins Amaral e Juliana Gondim de Albuquerque Lima, nos trabalhos de campo e processamento dos dados. Ao trabalho técnico de Edim Borges Vieira, Inésio A. Marinho Corrêa, Lucio Feitoza, Nelson de Oliveira Pais. A Valdeci de Matos Lima, na coleta de dados no campo. Ao Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil – Prodatab (Embrapa – Banco Mundial), pelos recursos financeiros utilizados no desenvolvimento do projeto.

Apresentação

As Áreas Úmidas são ecossistemas que apresentam o solo encharcado; são grandes armazenadores de carbono; possuem muitas espécies endêmicas; têm função primordial na manutenção dos cursos d'água.

A preservação desses ecossistemas é uma preocupação mundial, pois sua degradação intensifica a liberação dos gases do efeito estufa, a perda de biodiversidade e a deterioração dos recursos hídricos.

O Bioma Cerrado, o berço das águas no Brasil, apresenta diferentes ecossistemas de Áreas Úmidas, sendo um deles o Campo Úmido. Esse ecossistema funciona como uma esponja, regulando o fornecimento de água para os cursos de água na época chuvosa e sua manutenção na época seca. Apesar dessa importância, foi muito pouco estudado em seus processos ecológicos.

O presente trabalho contribui com informações básicas sobre a dinâmica do carbono em um Campo Úmido do Cerrado, cujos processos permitem a acumulação de grande quantidade de carbono no solo. Por causa disso, esse ecossistema, quando degradado, libera quantidades consideráveis de gases do efeito estufa para a atmosfera. Esperamos também, a partir das informações aqui apresentadas, contribuir na tomada de consciência sobre a importância da preservação das áreas de Campo Úmido ainda existentes no Cerrado para as gerações futuras.

Roberto Teixeira Alves
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

Introdução.....	11
Área de Estudo	14
Material e Métodos.....	15
Variáveis ambientais.....	15
Fluxo de CO ₂ vegetação-atmosfera.....	16
Fluxo de CO ₂ na superfície do solo	19
Resultados e Discussão.....	20
Variáveis ambientais.....	20
<i>Lençol Freático</i>	20
<i>Precipitação mensal</i>	21
<i>IAF e biomassa vegetal</i>	22
<i>Caracterização do solo</i>	22
Fluxo de CO ₂ vegetação-atmosfera.....	24
Fluxos de CO ₂ na superfície do solo.....	25
Conclusão	28
Referências	29
Abstract	32

Dinâmica Sazonal do Carbono em Campo Úmido do Cerrado

Maria Lucia Meirelles

Eloisa Aparecida Belleza Ferreira

Augusto César Franco

Introdução

As Áreas Úmidas são ecossistemas naturais que apresentam um substrato periodicamente inundado, fator determinante na origem e desenvolvimento do solo e das comunidades existentes (JOSEPHON, 1992). Encontram-se entre os recursos ambientais, atualmente, mais ameaçados. Grande parte delas, em muitos países, tem sido destruída, principalmente, por causa de sua drenagem para o uso agrícola (SUSO; LLAMAS, 1993). Apresentam alta produção primária, e a matéria morta presente nela se decompõe lentamente por anaerobiose por causa da inundação do solo, o que ocasiona acumulação substancial de matéria orgânica (YAVITT, 1994). Variações no hidroperíodo afetam fortemente os processos edáficos de decomposição, determinando a entrada e a saída de materiais no sistema, principalmente, do carbono. Mesmo ocupando somente 2 % de área no mundo, estima-se que as Áreas Úmidas contenham entre 10 % a 14 % do carbono orgânico existente (ARMENTANO, 1980).

Essas áreas são reconhecidas por seus diferentes valores funcionais; por apresentarem um efeito positivo sobre a qualidade dos cursos de água, pois acumulam nutrientes e reduzem a carga de sedimentos e de erosão; por contribuírem significativamente com os processos de transferência global de CO_2 , CH_4 , H_2S e N_2O . Todos esses componentes, exceto H_2S , absorvem a radiação infravermelha da atmosfera (ARMENTANO; MENDES, 1986), logo o aumento da concentração desses gases contribui para o agravamento do efeito estufa.

Na região do Cerrado, ocorrem diferentes fitofisionomias sobre solos periodicamente inundados, que correspondem a ecossistemas de Áreas Úmidas. Apesar do predomínio das fitofisionomias de solos bem drenados, as Áreas Úmidas do Cerrado são de grande importância ecológica, não só pelas razões acima expostas, mas também porque, na maioria dos casos, são sistemas de transição (ecótonos) com ampla conexão de entradas e saídas de matéria e energia, em relação aos sistemas adjacentes, tais como a atmosfera, os cursos de água e as formações savânicas e florestais. Estima-se que os solos hidromórficos ocupem 2,3 % da área total do Cerrado (REATTO et al., 1998). As Áreas Úmidas ocorrem sobre estes solos, sendo o Campo Limpo Úmido uma destas fitofisionomias. Ele aparece onde o excesso de água proporciona, em grande parte do ano, condições anaeróbicas que inibem o crescimento das espécies arbóreas e arbustivas e dificultam a decomposição aeróbica da matéria orgânica (M.O.) que se acumula no solo. Esse sistema natural ocorre, geralmente, em áreas planas, relativamente extensas, contíguas a cursos de água, sendo periodicamente inundadas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Em uma análise de Campo Limpo Úmido da Estação Ecológica de Águas Emendadas, foram quantificados, em média, 300 g kg⁻¹ de M.O., em até 20 cm de profundidade do solo (CORREIA et al., 1999). Isso demonstra que ele é um sistema natural com grande capacidade de estocar carbono na forma de M.O. As variações sazonais, que na região do Cerrado correspondem às épocas de chuva e de seca, ocasionam, nas áreas de Campo Úmido, a variação na altura do lençol freático. Essa variação afeta as condições anaeróbicas do solo e, conseqüentemente, os processos de decomposição da grande quantidade de matéria orgânica acumulada. Ademais, esses solos, quando drenados para o uso agrícola, sofrem mudanças significativas e contínuas nas suas características, podendo até eliminar a M.O. do solo por oxidação gradativa (MIRANDA, 1990). No sistema natural, o estoque de carbono é formado por causa do ganho na entrada desse elemento, pelo processo de fotossíntese, em relação à sua saída, principalmente, por meio dos fluxos de CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano).

É de grande importância o estudo da dinâmica do carbono em Campo Limpo Úmido, pois ele é um ecossistema armazenador de carbono, porém ainda pouco estudado em seus processos ecológicos. No estudo aqui apresentado, foi

obtida a quantificação dos fluxos de CO_2 nas interfaces solo-planta-atmosfera (Fig. 1), de forma integrada, utilizando metodologias não destrutivas. As medições foram realizadas in loco, de forma simultânea, e com um efeito multiplicador, pois a aparelhagem adquirida poderá ser utilizada no futuro em outros estudos. Os fluxos de CO_2 , na interface atmosfera-vegetação, foram obtidos pelo método micrometeorológico de correlação dos turbilhões que, embora necessite de aparelhos onerosos, tem a vantagem de ser um método não destrutivo. Ademais, sua aparelhagem pode ser facilmente instalada. O fluxo de CO_2 do solo foi obtido por câmara acoplada a um IRGA. O impacto da coleta de dados na área foi mínimo, pois foram realizadas em um ecossistema de fácil degradação.

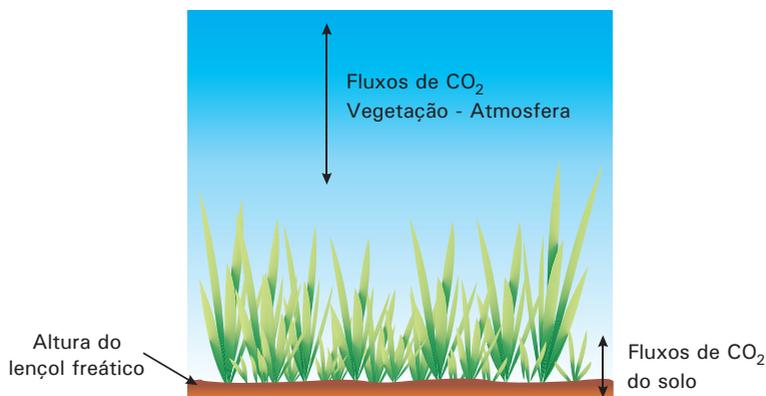


Fig. 1. Representação gráfica dos componentes estudados no projeto Dinâmica Sazonal do Carbono em Campo Úmido do Cerrado.

Os elementos relevantes deste projeto estão relacionados principalmente ao desenvolvimento metodológico e sua importância técnico-científica relacionados a um Campo Limpo Úmido do Cerrado por meio da quantificação da captação de CO_2 da atmosfera pela vegetação; da perda de carbono pelos fluxos de CO_2 ; das relações entre os fluxos de CO_2 solo – vegetação – atmosfera com as variações do grau de encharcamento do solo. Essas informações elucidam importantes processos ecológicos de uma Área Úmida que acumula uma grande quantidade de carbono e apresenta espécies nativas adaptadas a expressivas variações sazonais na altura do lençol freático.

Área de Estudo

A área estudada possui aproximadamente 16 ha, a 1.060 m de altitude, declividade média de 3 %, localizada de 15°55'31,3" a 15°55'45,5"S e 47°54'23,3" a 47°54'17,1" WGr na Fazenda Água Limpa (FAL), área experimental da Universidade de Brasília (UnB). A última queimada nessa área ocorreu em agosto de 1999.

A fitofisionomia corresponde a um Campo Limpo Úmido do Cerrado, ocorrendo em terreno mal drenado, sem árvores ou arbustos e estrato herbáceo contínuo, com predomínio de espécies da família Poaceae (Tabela 1). A área apresenta uma declividade de 3 %, na direção do Cerrado *sensu stricto* para a Mata de Galeria, as quais são duas fitofisionomias que bordeiam o Campo Limpo Úmido estudado (Fig. 2).

Tabela 1. As dez espécies herbáceo-subarbusivas com maior cobertura relativa (CR) em área de Campo Limpo Úmido na Fazenda Água Limpa, Brasília, DF.

Espécie	Família	CR (%)
<i>Axonopus comans</i> (Trin.) Henrad	Poaceae	42,11
<i>Andropogon lateralis</i> Nees subsp. <i>cryptopus</i>	Poaceae	9,29
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Poaceae	5,68
<i>Andropogon virgatus</i> Desv.	Poaceae	5,13
<i>Paspalum polyphyllum</i> Nees	Poaceae	3,18
<i>Lagenocarpus rigidus</i> Nees	Cyperaceae	2,66
<i>Eupatorium vindex</i> DC.	Asteraceae	2,59
<i>Hyptis carpinifolia</i> Benth.	Lamiaceae	2,59
<i>Ctenium</i> cf. <i>brachystachyum</i> (Nees) Kunth	Poaceae	2,50
<i>Echinolaena inflexa</i> (Poir.) Chase	Poaceae	2,37

Fonte: adaptado de Munhoz, 2003.



Foto: Maria Lucia Meirelles

Fig. 2. Área de estudo que corresponde a um Campo Limpo Úmido localizado na Fazenda Água Limpa – UnB (Brasília, DF).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW, tropical com chuvas no verão e seca no inverno. A estação seca ocorre de maio a setembro, e a chuvosa, de outubro a abril. O solo predominante é o Organossolo, com pH em H₂O em torno de 6,1.

Material e Métodos

Variáveis ambientais

Foi demarcada na região central do Campo Úmido, por meio de uma linha de nylon, uma transecção de 90 m, iniciando próximo à borda do Cerrado *sensu stricto* e finalizando na borda da Mata de Galeria. Colocaram-se estacas de 10 m em 10 m, demarcando assim nove pontos na transecção. Próximo a cada ponto, foi enterrado um tubo de PVC de 2 m, onde a distância entre a superfície e a lâmina de água do lençol freático foi monitorada mensalmente. Instalou-se um pluviômetro acoplado ao coletor de dados da Estação Microclimática Automática montada na área de estudo.

Foi realizado, em 30 de agosto de 2005, com quatro repetições, o corte rente ao solo das folhas presentes em 1 m² escolhido próximo aos pontos 3, 4, 5 e 6. Separaram-se o material vegetal verde e o morto. O índice da área foliar verde foi medida por um planímetro de mesa. Foi pesada, também, após secagem, a biomassa viva e morta, em estufa a 80° C por 48 horas.

Para a amostragem do solo, foram demarcados nove pontos amostrais eqüidistantes de 10 m, próximos aos locais onde foram instalados os canos de PVC utilizados para leitura da altura da lâmina do lençol freático. Cada ponto amostral foi considerado uma repetição. Cada amostra de solo foi composta por dez amostras simples por repetição e por profundidade, coletadas em um raio de 1,5 m, em torno de cada ponto amostral. As amostras de solo deformadas foram coletadas com trado holandês e as indeformadas com anel volumétrico, em agosto de 2005, em sete profundidades distintas (0 cm a 5 cm; 5 cm a 10 cm; 10 cm a 20 cm; 20 cm a 30 cm; 30 cm a 40 cm; 40 cm a 50 cm; 50 cm a 60 cm). Em decorrência de elevados teores de água no solo, em quatro pontos não foi possível realizar a amostragem indeformada nas camadas mais profundas (abaixo de 40 cm). O teor de carbono orgânico do solo foi avaliado pelo método da oxidação por via úmida (WALKLEY; BLACK, 1934). As análises química e física do solo foram realizadas segundo a Embrapa (1997).

Fluxo de CO₂ vegetação-atmosfera

O balanço de energia na superfície apresenta os seguintes componentes (OKE, 1981):

$$R_n = LE + H + G + F_c$$

Na qual R_n é a radiação líquida, LE o fluxo de calor latente, H o fluxo de calor sensível no ar, G o fluxo de calor sensível no solo e F_c o fluxo da energia fotoquímica.

A densidade do fluxo de energia fotoquímica (F_c), que corresponde aos fluxos de CO₂ na interface atmosfera e vegetação, foi obtida a partir da técnica de correlação dos turbilhões (eddy covariance).

Foram instalados nas áreas, dois mastros (modelo CM6 da marca Campbell), sendo uma Estação Microclimática Automática e um Sistema de Correlação dos Turbilhões, para a obtenção dos fluxos turbulentos (Fig. 3). Os sensores foram instalados a 4 m acima do solo, e as estações foram alimentadas por duas baterias de 100 W acopladas a dois painéis solares (Siemens) de 75 W cada.

A Estação Microclimática Automática (Fig. 4) apresentava os seguintes sensores, com os respectivos modelos e marcas: de velocidade (014A – Met One) e direção do vento (024A – Met One); de radiação líquida (Q7 – REBS); de radiação fotossinteticamente ativa (Li190 - LICOR); de radiação solar

incidente e refletida para obtenção do albedo (CM3 – Kipp & Zonen); de temperatura e umidade do ar (HMP45C – Vaisala); de calor do solo (HFT3 – REBS); de temperatura (TCAV – Campbell); de umidade do solo (CS615 – Campbell). Esses sensores foram acoplados a um sistema de aquisição de dados (CR23X - Campbell) que continha o software de gerenciamento. Os dados foram coletados a cada minuto, e armazenadas as médias de 30 minutos. As informações foram recolhidas semanalmente por meio de um módulo de armazenagem (SM4M - Campbell).



Fig. 3. Localização da Estação Microclimática Automática (EMA) e do Sistema de Correlação dos Turbilhões (SCT) em um Campo Úmido do Cerrado bordado pela Mata de Galeria e Campo Sujo do Cerrado (Brasília, DF).

A R_n foi obtida por radiômetro líquido, com os valores corrigidos em relação à velocidade do vento. O fluxo de calor sensível do solo foi calculado com base na média das duas placas de solos, colocadas a 8 cm de profundidade, acrescida da energia armazenada no solo (S) obtido por:

$$S = C_v \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) dZ$$

em que C_v é o calor específico do solo úmido e $\Delta T/\Delta t$ é a variação média de temperatura do solo, cujos sensores foram instalados a 2 cm e 6 cm de profundidade. Foram utilizados para o cálculo de C_v , os teores de água obtidos a 3 cm de profundidade.



Foto: Maria Lucia Meirelles

Fig. 4. Estação Microclimática Automática em um Campo Úmido do Cerrado (Brasília, DF) com os aparelhos acoplados em mastro, pluviômetro ao lado e suporte com os painéis solares.

O Sistema de Correlação dos Turbilhões (Fig. 5) estava constituído de um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3 - Campbell), que mede as flutuações da velocidade do vento nas três direções e a temperatura, e um IRGA de resposta rápida (Li7500 - LICOR), medindo a densidade do vapor d'água e CO_2 . Os aparelhos estavam acoplados a um datalogger (CR5000 - Campbell) que gerenciava a obtenção dos dados em uma frequência de 20 Hz. Os dados obtidos foram coletados em um cartão de memória FLASH de 2GB. Para a obtenção dos fluxos, utilizou-se o Programa Eddy3, desenvolvido pela equipe de micrometeorologia da ALTERRA (Holanda), que a cada 30 minutos calcula H, LE e F_c , pela média dos produtos das flutuações da velocidade vertical do vento com a temperatura, a concentração do vapor de água e CO_2 , respectivamente, e as correções pertinentes dos dados.

Foto: Maria Lucia Meirelles



Fig. 5. Sistema de Correlação dos Turbilhões em um Campo Úmido do Cerrado (Brasília,DF).

Fluxo de CO₂ na superfície do solo

O método utilizado para determinações do fluxo de CO₂ da superfície do solo foi o dinâmico de medição do CO₂ por analisador de gás infravermelho (IRGA), que calcula a respiração do solo, usando as taxas de incremento da concentração de CO₂ na superfície, e fornece estimativas confiáveis e rápidas (HAYNES; GOWER, 1995). Nesse método, a câmara tem pouca influência nas variáveis microclimáticas, pois as medidas de fluxo por períodos relativamente curtos (2 a 3 minutos) minimizam os efeitos da temperatura do ar e do solo, de seu teor de água e do gradiente de concentração de CO₂.

Utilizou-se um equipamento portátil (JENSEN et al., 1996; NORMAN et al., 1997) equipado com uma câmara de respiração, na qual o fluxo de CO₂ é retido, e um sistema automático que imediatamente aciona um analisador de gás infravermelho modelo LI - 6400 (LI-COR, LINCOLN, NE, USA), acoplado a um sistema digital de armazenamento de dados (Fig. 6).

Para se determinar o fluxo de CO₂, mede-se, inicialmente, sua concentração, na atmosfera local. A câmara de respiração é colocada delicadamente em um anel de PVC (10,5 cm de diâmetro interno x 5 cm de altura) inserido

permanentemente no solo a 2 cm de profundidade. O anel de PVC foi utilizado para se evitar qualquer distúrbio mecânico no momento da instalação. A concentração de CO_2 dentro da câmara é então ajustada por meio de uma bomba de sucção em níveis abaixo da concentração da atmosfera ambiental. O sistema é desligado, e o fluxo de CO_2 acumulado é medido por 2 a 3 minutos, três vezes. A medida do fluxo de CO_2 foi calculada interpolando-se os valores do aumento de $10 \text{ mg CO}_2 \text{ L}^{-1}$ dentro da câmara e o tempo de medição, considerando o volume interno da câmara de respiração e a concentração de CO_2 ambiental medida anteriormente.

Fotos: Eloisa Aparecida B. Ferreira

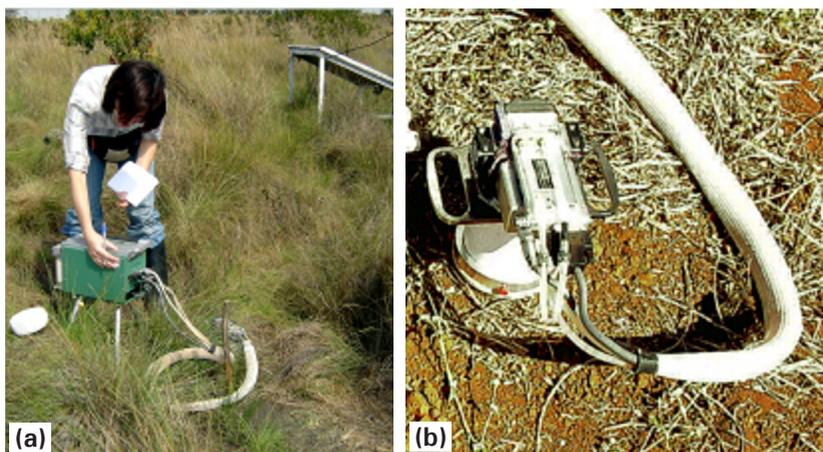


Fig. 6. (a) Analisador de gás infravermelho (IRGA) LI- 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), acoplado a um sistema digital de armazenamento de dados. (b) Câmara de solo acoplada ao IRGA.

Instalaram-se nove anéis de PVC em abril de 2005, adjacentes aos nove pontos em que o nível do lençol freático era monitorado. Medidas de fluxo de CO_2 foram realizadas durante o período de 365 dias, em 44 intervalos de aproximadamente uma semana.

Resultados e Discussão

Variáveis ambientais

Lençol Freático

A Fig. 7 apresenta a distância entre o lençol freático e a superfície do solo, obtida mensalmente na primeira semana dos meses de janeiro de 2005 a abril

de 2006. De janeiro a agosto, o lençol freático esteve próximo à superfície, ficando abaixo desta de setembro a dezembro.

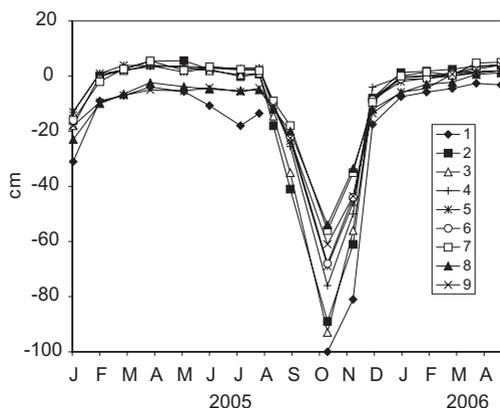


Fig. 7. Distância entre a lâmina de água do lençol freático e a superfície do solo em nove pontos de amostragem em área de Campo Úmido (Brasília, DF).

Precipitação mensal

A Fig. 8 apresenta os dados mensais de precipitação no ano de 2005, em comparação às médias de 33 anos, obtidas na Estação Meteorológica de Brasília, localizada no Instituto de Meteorologia (Brasília, DF).

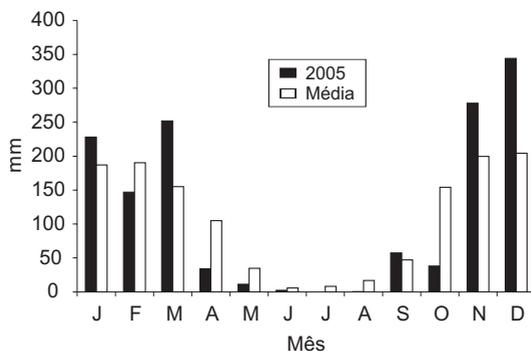


Fig. 8. Precipitação total mensal na área de estudo no ano de 2005 e as médias (1962 a 2005) da estação meteorológica de Brasília (INMET).

IAF e biomassa vegetal

Foram obtidos os valores médios de IAF de 1,30; o peso seco da biomassa viva aérea de $261,6 \text{ g m}^{-2} \pm 37,1 \text{ g m}^{-2}$; o peso seco da biomassa morta aérea de $799,6 \text{ g m}^{-2} \pm 348,3 \text{ g m}^{-2}$. Observa-se que a quantidade de matéria morta é cerca de três vezes maior que a quantidade de matéria vegetal fotossinteticamente ativa (biomassa viva).

Caracterização do solo

Os teores de carbono orgânico do solo variaram de $17,22 \text{ dag kg}^{-1}$ solo seco nos primeiros 5 cm de solo no ponto 7 até $1,25 \text{ dag kg}^{-1}$ solo seco na camada de 50 cm a 60 cm do ponto 8. Na Fig. 9, é apresentado o estoque de carbono calculado em cada profundidade distinta. Considerando uma densidade aparente do solo de aproximadamente 0,5 (Tabela 2), o estoque de carbono orgânico estimado até 60 cm de profundidade em um hectare é de 241 toneladas.

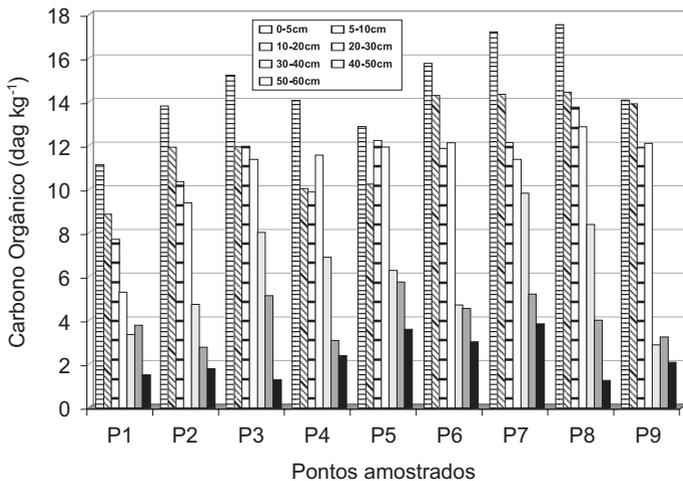


Fig. 9. Estoque de carbono orgânico do solo em diferentes profundidades.

O teor de água no solo na capacidade de campo - que representa a água disponível para as plantas, presente no solo, em equilíbrio com a ação da gravidade - atingiu valores acima de três vezes a massa de solo (Tabela 3). A condutividade hidráulica saturada (Ks) representa a relação entre o fluxo e o gradiente hidráulico e indica a facilidade com que a água percola o perfil do solo. Toda área experimental apresentou valores muito baixos de Ks, os

quais decresceram das bordas para o ponto central do Campo Úmido (Tabela 3) indicando queda na permeabilidade do solo e do tamanho dos poros, pois quanto menor o tamanho do poro, maior será a pressão necessária para atravessá-lo.

Tabela 2. Estoque de carbono orgânico do solo estimado até 60 cm de profundidade.

Profundidade	C orgânico (kg ha ⁻¹)
0 cm – 5 cm	36.596
5 cm – 10 cm	30.570
10 cm – 20 cm	56.600
20 cm – 30 cm	54.461
30 cm – 40 cm	30.633
40 cm – 50 cm	20.857
50 cm – 60 cm	11.539
Total (0 cm a 60 cm)	241.257

Tabela 3. Densidade aparente (Ds), capacidade de campo (CC), e condutividade hidráulica saturada do solo (Ks).

Pontos Amostrais	Ds (g. cm ⁻³)	CC (%)	Ks (cm s ⁻¹)
p1	0,74	87	0,015587
p2	0,63	116	0,000457
p3	0,48	145	0,000112
p4	0,52	137	0,000138
p5	0,46	153	0,000432
p6	0,36	221	5,46.10 ⁻⁵
p7	0,46	173	0,00011
p8	0,26	314	0,020616
p9	0,40	226	0,0979
Média Geral	0,48 ± 0,14	174,5 ± 0,69	0,02 ± 0,03

Fluxo de CO₂ vegetação-atmosfera

O carbono total retirado da atmosfera por meio do fluxo de CO₂ vegetação e atmosfera variou no transcorrer dos meses de 2005 (Fig. 10), aumentando na época das chuvas e diminuindo no transcorrer da época seca. A correlação mensal do carbono retirado da atmosfera e a distância entre a lâmina do lençol freático e a superfície do solo ($r^2=0,71$, $p < 0,005$) demonstra a relação existente entre a altura do lençol freático e a captação de carbono atmosférico pela vegetação.

Os picos máximos diurnos dos fluxos de CO₂ (Fig. 11), negativos por representar a direção atmosfera-vegetação, apresentaram magnitudes médias no transcorrer dos meses de 2005 que acompanharam as variações observadas na quantidade de carbono acumulado (Fig. 10).

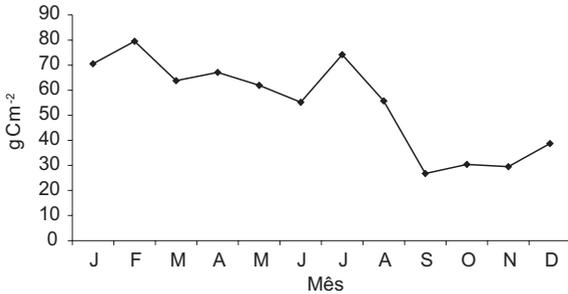


Fig. 10. Carbono total mensal (2005) retirado da atmosfera (g C m⁻²) no período diurno por uma vegetação de Campo Úmido do Cerrado (Brasília, DF).

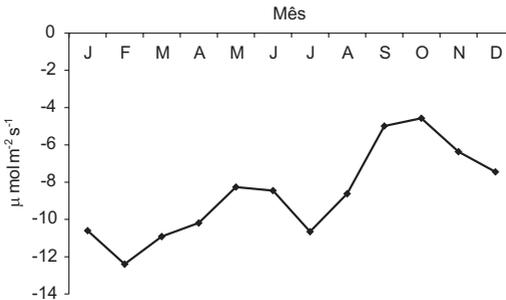


Fig. 11. Média mensal (2005) do pico máximo diurno do fluxo de CO₂ atmosfera-vegetação em um Campo Úmido do Cerrado (Brasília, DF).

Fluxos de CO₂ na superfície do solo

A respiração do solo revela toda sua atividade biológica, incluindo raízes de plantas, macrorganismos (como minhocas, nematóides, e insetos) e microrganismos. Essa respiração microbiana é caracterizada pela produção de CO₂, como resultado de seu metabolismo. Ela é função não somente da densidade de microrganismos, mas também de sua condição metabólica, que depende das condições físicas e químicas, como temperatura, porosidade, teor de água, pH do meio etc.

O valor médio do fluxo de CO₂ da superfície do solo (Fig. 12) variou de 0,26 $\mu\text{molC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em abril de 2006 (c.v. = 194 %) a 5,21 $\mu\text{molC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em novembro de 2005 (c.v. = 39 %); a média anual do fluxo ficou em torno de 1,46 $\mu\text{molC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com alta variabilidade (coeficiente de variação = 114). A altura do nível da lâmina do lençol freático, representado pela distância entre a lâmina de água do lençol freático e a superfície do solo, variou entre + 10,6 cm, em abril de 2006, no ponto 6 de monitoramento, e < 100 cm, no ponto 1, em outubro de 2005. A média anual para todos os pontos (p=396) foi de -16,78 (\pm 26,09).

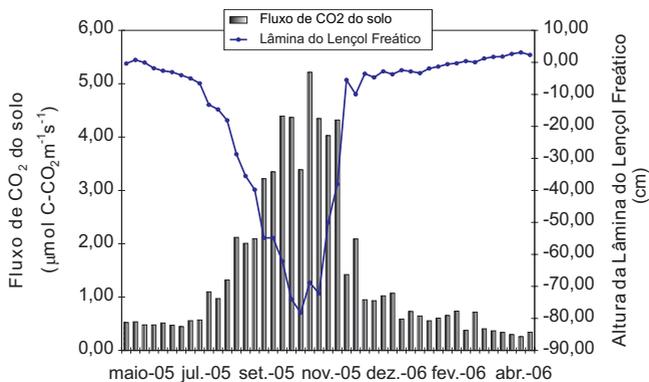


Fig. 12. Fluxo de CO₂ ($\mu\text{mol C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) do solo e distância entre o lençol freático e a superfície do solo - média dos pontos 1 a 9, de maio de 2005 a abril de 2006.

Houve uma forte tendência sazonal, com maiores taxas de emissão de CO₂ pelo solo ocorrendo ao final do período seco do ano (Fig. 12), quando o lençol freático estava muito abaixo da superfície do solo (entre 50 cm e 100 cm de

profundidade), com forte correlação negativa entre o fluxo de CO_2 do solo e altura do nível do lençol freático. Isso explicou 94 % da variação ($r = 0,94$; $p = 0,005$) (Tabela 4).

Tabela 4. Fluxo médio de CO_2 da superfície do solo de maio de 2005 a abril de 2006 (média), coeficientes de variação entre os 44 intervalos analisados (c.v.) e coeficiente de correlação entre o fluxo de CO_2 e altura do lençol freático (r).

Fluxo de CO_2 ($\text{mmolC-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Pontos Monitorados								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Média	2,42*	1,71	1,58	1,97	1,19	0,76	1,03	0,99	1,54
c.v.	56	107	144	126	112	131	127	76	102
r^{**}	-0,83	-0,93	-0,92	-0,84	-0,91	-0,95	-0,83	-0,81	-0,82

** $p < 0,05$.

Existem vários estudos que analisam e explicam os efeitos dos fatores ambientais na dinâmica do carbono em áreas úmidas, mas a maioria deles foi realizada em ecossistemas de clima temperado. O nível do lençol freático pode ter efeitos importantes em emissões de CO_2 de áreas úmidas, porque a saturação do solo limita a difusão de oxigênio atmosférico, diminuindo a atividade microbiana e a taxa de decomposição (CHIMNER; COOPER, 2003). Considerando que a respiração aeróbia é mais eficiente na produção de CO_2 que a respiração anaeróbia (SCHLESINGER, 1997), um declínio da lâmina do lençol aumenta a difusão de oxigênio em solos que permitem decomposição aeróbia, o que aumenta emissões de CO_2 (MOORE; KNOWLES, 1989; BUBIER, 1995; SILVOLA et al., 1996); As raízes são outra grande fonte de carbono oxidável, o que acontece principalmente em camadas de turfa superiores (CHIMNER, 2000; citado por CHIMNER; COOPER, 2003). Elas produzem exudatos e radículas que podem ser decompostos rapidamente por microrganismos, quando expostas a condições mais aeróbias (THOMAS et al., 1996) e também liberam CO_2 da própria respiração (SILVOLA et al., 1996; VERVILLE et al., 1998).

A correlação entre o fluxo de CO_2 do solo e a temperatura do solo foi fraca ($r = 0,19$; $p = 0,05$), indicando que, no caso de Campo Úmido no Cerrado, a temperatura do solo tem pouca influência sobre emissões de CO_2 , no

intervalo de temperatura estudado (média = 18,7 2,96). Resck et al. (1996), monitorando o fluxo de CO₂ em Latossolos no Cerrado, sob vários agroecossistemas, incluindo culturas anuais, reflorestamentos e vegetação nativa de Cerrado *sensu stricto*, encontraram baixas correlações (entre 0,30 e 0,52) entre a produção total de CO₂ e as temperaturas mínima e máxima do solo. Para clima temperado, na qual a amplitude térmica é maior, Updegraff et al. (2001) afirmam que a decomposição da matéria orgânica e as emissões de gás carbônico estavam limitadas mais pela temperatura que pela profundidade do lençol; Fransluebbbers et al. (1995) também encontraram altas correlações entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo.

Calcularam-se o fluxo médio e o desvio-padrão para cada conjunto de quatro medições dentro de cada mês. Uma estimativa dos valores acumulados, no período estudado, foi obtida do produto do fluxo médio pelo número de dias de cada mês e, posteriormente, pela soma dos valores para os meses avaliados no estudo (intervalo de tempo de 365 dias).

O fluxo anual total estimado está em torno de 5.110 kg de C-CO₂ ha⁻¹. Esses valores são bem menores que obtidos em Cerrado *sensu stricto*, em um estudo realizado por Ferreira (2002), em que foram estimados fluxos anuais entre 9.010 kg C-CO₂ ha e 14.213 kg C-CO₂ ha. Porém, os ambientes são distintos e em Cerrado *sensu stricto* prevalece a oxidação que se contrapõe, nesse caso, a um ambiente no qual o processo de redução aumenta à medida que a altura do lençol freático se eleva até atingir o ponto zero em relação à superfície do solo.

Se uma alteração no ciclo hidrológico ocorresse, devido às mudanças climáticas e, como consequência, acontecesse um rebaixamento do lençol freático na estação chuvosa e a altura da lâmina do lençol freático diminuísse - como ocorre entre o início de julho e o final de novembro - haveria um aumento da oxidação da matéria orgânica, o que poderia elevar o fluxo anual de CO₂ do solo.

Com base nesses resultados, sugere-se que em Áreas Úmidas do Cerrado, a temperatura do solo tem pouca influencia sobre o fluxo de CO₂ do solo e a quantificação da altura da lâmina de água é fundamental para entender e prever padrões futuros de ciclo do carbono, visto que, até mesmo uma variação relativamente pequena na oscilação da altura do lençol freático, causada por uma eventual mudança no padrão de distribuição de chuvas, pode mudar significativamente o ciclo do carbono em um Campo Úmido do Cerrado.

Conclusões

O fluxo de CO₂ vegetação – atmosfera captado, que corresponde à quantidade de carbono atmosférico, foi maior na época das chuvas e menor na época da seca. A correlação mensal do carbono retirado da atmosfera e a distância entre a lâmina de água e a superfície do solo ($r = 0,71$, $p < 0,005$) demonstram a estreita relação existente entre o aumento na altura do lençol freático e a captação de carbono atmosférico pela vegetação. O fluxo de CO₂ do solo apresentou comportamento inverso, sendo maior na época da chuva, variando de 17,01 g C m⁻² em maio a 139,24 g C m⁻² em novembro. A alta correlação mensal do fluxo de CO₂ do solo e a altura do lençol freático ($r = -0,94$, $p < 0,005$) demonstram que o fluxo de CO₂ do solo aumentou significativamente com o rebaixamento do lençol freático.

O CO₂ captado pelas plantas corresponde ao CO₂ que chega ao dossel oriundo dos fluxos atmosfera-vegetação e solo-vegetação. Somaram-se os valores desses dois fluxos para se obter a quantidade de CO₂ captado pela vegetação pelo processo fotossintético. Foi obtida uma correlação significativa ($r = -0,90$) entre a quantidade de CO₂ captado nos meses de 2005 e as variações na altura do lençol freático. Isso é um indicativo da alta adaptabilidade destas espécies vegetais, predominantemente herbáceas, aos diferentes graus de encharcamento na superfície do solo, pois a altura da lâmina de água variou durante o ano, desde a superfície do solo até aproximadamente 60 cm abaixo da superfície.

O rebaixamento do lençol freático determina a redução das espécies herbáceas adaptadas a um maior grau de encharcamento, que passam a sofrer sombreamento por um estrato arbustivo-arbóreo. Ele se forma a partir destas perturbações em decorrência da colonização por espécies nativas arbóreo-arbustivas típicas do Cerrado de áreas mais drenadas, tais como, *Trembleya parviflora* e *Vochysia pyramidales* (MEIRELLES et al., 2004). As Áreas Úmidas do Cerrado funcionam como verdadeiras esponjas naturais para os cursos d'água da região. Perturbações locais (pastoreio, drenagem, desmatamento) e mudanças no uso da terra ao nível da Bacia Hidrográfica que levam à redução na profundidade do lençol freático, ocasionam a desestruturação das Áreas Úmidas do Cerrado com conseqüente perda de sua biodiversidade e mudanças no ciclo do carbono.

Referências

- ARMENTANO, T. V.; MENDES, E, S. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 74, p. 755-774, 1986.
- ARMENTANO, T. V. Drainage of organic soils as a factor in the world carbon cycle. **BioScience**, Washington, DC, v. 30, p. 825-830, 1980.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO₂ concentration by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, p. 230-235, 1998.
- BRIDGHAM, S. D.; JOHNSTON, C. A.; PASTOR, P.; UPDEGRAFF, K. Potential feedbacks of northern wetlands on climate change. **BioScience**, Washington, DC, v. 45, p. 262-274. 1995.
- BUBIER, J. L. The relationship of vegetation to methane emission and hydrochemical gradients in northern peatlands. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 83, p. 403-420, 1995.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 1979. 343 p.
- CHIMNER, R. A.; COOPER, D. J. Influence of water table levels on CO₂ emissions in a Colorado. Subalpine fen: an in situ microcosm study. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 35, p. 345-351, 2003.
- CORREIA, J. R.; MEIRELLES, M. L.; OLIVEIRA, R. C.; REATTO, A.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S.; SIMM, K. C. **Relação entre espécies vegetais e classes de solos da Estação Ecológica de Águas Emendadas (Planaltina, DF)**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 4 p. (Embrapa-CPAC. Pesquisa em Andamento, 37).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERREIRA, E. A B. **Dinâmica do fluxo de CO₂ e do carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado**. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HONS, F. M.; ZUBERER, D. A. Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature, and bulk density. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 95-109, 1995.

HAYNES, B. E.; GOWER, S. T. Belowground carbon allocation in unfertilization and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin. **Tree Physiology**, Victoria, v. 15, p. 317-325. 1995.

JENSEN, L. S.; MUELLER, T.; TATE, K. R.; ROSS, D. J.; MAGID, J.; NIELSEN, N. E. Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ. A comparison of two chamber methods. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 29, p. 1297-1306, 1996.

JOSEPHON, J. Status of wetlands. **Environmental Science & Technology**, Washington, DC, v. 26, p. 422, 1992.

MEIRELLES, M. L.; GUIMARÃES, A. J. M.; OLIVEIRA, R. C. de; GLEIN, M. A.; RIBEIRO, J. F. Impactos sobre o estrato herbáceo de Áreas Úmidas do Cerrado. In: AGUIAR, L. M. de; CAMARGO, A. J. A. de (Ed). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 2004. p. 41-68.

MIRANDA, L. N. **Prioridades e metodologias de pesquisa em várzeas na área de fertilidade do solo**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1990. 17 p. (Embrapa-CPAC. Documentos, 33).

MOORE, T. R.; DALVA, M. The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and methane emissions from laboratory columns of peatland soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, p. 651-664, 1993.

MOORE, T. R.; KNOWLES, R. Influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peatland soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 69, n. 1, p 33-38, February 1989.

MUNHOZ, C. B. R. **Padrões de distribuição sazonal e espacial das espécies do estrato herbáceo-subarbustivo em comunidade de Campo Limpo Úmido e de Campo Sujo**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

NORMAN, J. M.; KUCCHARIK, C. J.; GOWER, S. T.; BALDOCC-HI, D. D.; CRILL, P. M.; RAYMENT, M.; SAVAGE, K.; STRIEGL, R. G. A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. **Journal of Geophysical Research**, Washington, DC, v. 102, p. 28771-28777, 1997.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. Routledge: London, 1981.

REATTO, A.; SPERA, S. T.; CORREIA, J. R.; MARTINS, E. S.; MILHOMEN, A. Solos de ocorrência em duas áreas sob matas de galeria no Distrito Federal: aspectos pedológicos, uma abordagem química e físico hídrica. In: RIBEIRO, J. F.; SOUZA-SILVA, J. C.; LAZARINE, C. E. (Ed.). **Cerrado: caracterização e**

recuperação de matas de galeria. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. 164 p.

RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RODRIGUES, D. C.; SANTOS, A. L.; SILVA, J. E. da. Influência do uso e manejo do solo na produção de CO₂ em diferentes agroecossistemas na região dos Cerrados. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11.; 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: SLACS-SBCS, 1996. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-166.

SAS Institute. **User's guide**: version 6. 4. ed. Cary, 1989. v. 1.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**: an analysis of global change. 2. ed. New York: Academic Press, 1997.

SILVOLA, J.; ALM, J.; AHLHOLM, U.; NYKANEN, H.; MARTIKAINEN, P. J. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 84, p. 219-228, 1996.

SUSO, J.; LLAMAS, M. R. Influence of groundwater development on the Dónana National Park ecosystems. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 141, p. 239-269, 1993.

THOMAS, K. L.; BENSTEAD, J.; DAVIES, K. L.; LLOYD, D. Role of wetland plants in the diurnal control of CH₄ and CO₂ fluxes in peat. **Soil Biology & Biochemistry**, Kidlington, v. 28, p. 17-23. 1996.

UPDEGRAFF, K.; BRIDGHAM, S. D.; PASTOR, J.; WEISHAMPEL, P.; HARTH, C. Response of CO₂ and CH₄ emissions from peatlands to warming and water table manipulations. **Ecological Applications**, Washington, DC, v. 11, p. 311-326, 2001.

VERVILLE, J. H.; HOBBIE, S. E.; CHAMPIN III, F. S.; HOOPER, D. U. Response of tundra CH₄ and CO₂ flux to manipulation of temperature and vegetation. **Biogeochemistry**, Cheshire, v. 41, p. 215-235, 1998.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtyareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, Camden, v. 37, p. 29-38, 1934.

YAVITT, J. B. Carbon dynamics in Appalachian peatlands of west Virginia and western Maryland. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 77, p. 271-290, 1994.

Seasonal Dynamics of Carbon in a “Cerrado” Flooded Grassland

Abstract – Seasonally flooded grassland is a type of Cerrado vegetation that occurs in poorly drained soils with high concentration of soil organic matter. The main objective of the present study was to examine the seasonal changes in CO_2 exchange at the interface soil-vegetation-atmosphere of seasonally flooded grassland and its relationship to the environmental factors which were characteristic of each period. The study was carried out at the experimental farm of the University of Brasília (Brasília, DF). Field measurements were made during the year of 2005. CO_2 fluxes at the interface soil-vegetation were monitored with an eddy covariance system and the CO_2 soil flux with an IRGA Licor-6400 connected to a soil chamber. The variation of the water table was also monitored and the climatic data were collected by an automated meteorological station. Soil was collected to determine the amount of soil organic carbon to a depth of 60 cm. The height of the water table varied seasonally from the soil surface to about 60 cm belowground. The organic carbon stock was estimated as $241,257 \text{ kg ha}^{-1}$. CO_2 flux at the interface soil-vegetation was larger in the rainy season and it reached the lowest values in the dry period. On the other hand, the soil CO_2 flux was lower in the wet season. In order to obtain the amount of CO_2 that was absorbed by the vegetation, the atmosphere-vegetation and soil-vegetation fluxes were added. Similar daily values of CO_2 -exchange at the stand level were measured throughout the year and these values showed no significant correlation with the seasonal variation in the height of the water table. This nearly constant CO_2 uptake throughout the year despite the large seasonal changes in rainfall and in the height of the water table suggests that this type of vegetation, which is mostly composed of herbaceous plants, is well-adapted to different degrees of soil waterlogging.

Index terms: wetlands, carbon, soil, carbon dioxide exchange.