

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

JADSON DEZINCOURT DIAS

**Composição isotópica e fluxos de CO₂ em área de Cerrado (Parque Estadual
de Vassununga, SP)**

Piracicaba

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JADSON DEZINCOURT DIAS

Composição isotópica e fluxos de CO₂ em área de Cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP)

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo

Piracicaba

2009

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Dias, Jadson Dezincourt

Composição isotópica e fluxos de CO₂ em área de Cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP) / Jadson Dezincourt Dias; orientador Plínio Barbosa de Camargo. - - Piracicaba, 2009. 95 p.: fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo

1. Dióxido de carbono 2. Efeito estufa 3. Isótopos estáveis 4. Matéria orgânica do solo 5. Mudança climática I. Título

CDU 504.7:621.039.8

Dedico

A minha mãe, Doralice Dezincourt Dias e ao meu pai Raimundo Geraldo Dias (in memoriam) por serem os amores da minha vida, a escada para meu sucesso, pelo exemplo de vida, apoio incondicional, por suas orações, seus gestos de carinho e amor, até mesmo pelos puxões de orelhas que me deram quando moleque, fez com que me tornasse esse homem que sou atualmente.

A vocês, todo o meu amor

Ofereço

Aos meus irmãos: Jackson, Joelma, Jerfferson (lobão) Jaqueline Dezincourt, pelo grande apoio durante toda minha jornada acadêmica e pelos incentivos.

Aos sobrinhos Carol, Camila e Pedrinho, pois representam a continuação genética dos meus manos.

Ao meu grande amor Melissa Castiglioni que esteve sempre presente nas minhas alegrias, tristezas derrotas e nas minhas vitórias.

Obrigado

AGRADECIMENTOS

Ao meu maravilhoso Deus que a cada noite peço em orações sua benção e proteção para continuar lutando a cada dia;

As mais maravilhosas pessoas: “meus pais e meus irmãos”, orientadores da vida e por representarem tudo que há de mais sagrado em minha vida;

Ao Dr. Plínio Barbosa de Camargo, pela orientação, apoio, confiança, amizade, que muito contribuiu para meu crescimento científico e intelectual; e pelo aceite no curso de Doutorado.

Ao Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto e Dr. Luiz Antonio Martinelli pela valiosa orientação e oportunidade concedida dentro do Laboratório de Ecologia Isotópica, principalmente para a realização deste trabalho.

Ao Dr. Marcelo Zacarias Moreira, pelos trabalhos concedidos no Laboratório.

Ao Dr. Marcos Pereira Marinho Aidar, pelas sugestões dadas ao manuscrito;

Ao Programa de Pós-Graduação em Química na Agricultura e no Ambiente (CENA/ESALQ), pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e ao Laboratório de Ecologia Isotópica, por me acolher neste renomado estabelecimento de ensino.

Aos amigos Paraenses, Eráclito Neto, Michela Figueira; pela grande amizade e pelos laços regionais, de todo coração sou muito grato a vocês, e claro ao Jose Mauro, que me ajudou muito no campo e sempre mostrou que é um grande guerreiro, valeu amigo.

Aos amigos de Piracicaba, Marcos Augusto Scaranello; Edmar Mazzi, Fabiana Fracassi, Fátima Rasera, Juliano vulgo “o Joba”; Jorge Moraes, Fernada, Tatiana, Simone Vieira, Diego (beijola), Uwe Herpin, Vânia Neu, Maira “mangueira”; Gabriela Nardoto, Alessandra Paula, Edgard Tribuzy, Cristina, Susian, Beth, Luciana, Fernando Godoy, Geraldo Arruda, Túnica, Alexandre Bentes, ao grande Rodrigo Trevisan, Eduardo o “duzão”, Ney Leite “japa”, Giovana Cabianchi, e estagiários, pela ajuda e amizade durante o meu trabalho em Piracicaba;

A amiga Sandra Navarro, que sempre foi um amor de pessoa, e nas horas difíceis sempre me aconselhava.

Ao Leonardo “o Lê” e Thiago Ermenegildo “Peixe” grandes colaboradores nos trabalhos de campo, merecem toda minha gratidão.

Ao meu grande amigo Daniel Bentes (vulgo Danilo) pelas risadas varando as madrugadas e pelas lembranças dos nossos dialetos regionais. Sem esquecer, das revisões dos cálculos e formatação deste documento;

Ao grande amigo Luiz Felipe Sallemi pelas diversões, ajuda, revisão deste documento, compreensão, força e por ser a pessoa que me fez sentir como seu irmão, e a nossa amizade é realmente verdadeira. Valeu grande Urso.

MUITO OBRIGADO!

***“Quando a gente acha que tem
todas as respostas, vem a vida e muda
todas as perguntas.”***

Luiz Fernando Veríssimo

RESUMO

DIAS, J. D. Composição isotópica e fluxos de CO₂ em área de Cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP). 2009. 95 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

O presente estudo foi desenvolvido em uma área de Cerrado “*stricto sensu*”, localizado no Parque Estadual de Vassununga, próximo ao município de Santa Rita do Passa Quatro, interior de São Paulo. O objetivo deste trabalho foi mensurar os fluxos de CO₂, liberado pelos processos respiratórios da vegetação e do solo (heterotrófica + autotrófica) para aferir a importância relativa destes compartimentos na respiração total do ecossistema, utilizando-se da técnica isotópica. Foi utilizada a técnica da reta de “keeling plot”, para determinar os valores isotópicos respirados pelo ecossistema, e pelos componentes vegetais (serapilheira, madeira morta, raízes, folha e ramo). De acordo com os resultados, os valores isotópicos do CO₂ respirado pelos componentes autotróficos e heterotróficos, foram significativamente influenciados pela sazonalidade, ficando mais enriquecidos em ¹³C durante o período seco. As correlações encontradas entre os valores do δ¹³C- CO₂ respirado pelos componentes e os fatores ambientais, como temperatura e umidade indicaram uma relação significativa. Os valores do δ¹³C-CO₂ respirado pelo ecossistema foram menos enriquecidos em ¹³C quando houve maior disponibilidade de água no sistema. O valor isotópico do δ¹³C-CO₂ respirado pelo ecossistema Cerrado foi de -25,26 ‰. Particionando a respiração do ecossistema em acima e abaixo do solo, verificou-se que 75% foi realizada pela respiração abaixo do solo (microrganismo+raízes). Particionando a respiração em autotrófica e heterotrófica, observou-se que 54% foi realizado pela respiração da vegetação. Portanto, para tais resultados, a disponibilidade hídrica no solo, seguida da precipitação representaram um dos mais importantes fatores que contribuíram para a variabilidade nos valores isotópicos do δ¹³C orgânico e δ¹³C-CO₂ respirado e no CO₂ fixado pelo ecossistema. Os resultados obtidos neste estudo são de fundamental importância para uma melhor compreensão do ciclo do carbono no bioma Cerrado, bem como, abre a oportunidade de utilizar a técnica isotópica para definir padrões do δ¹³C-CO₂ respirado em nível de ecossistema, utilizando estes resultados como indicadores de mudanças nas trocas gasosas frente ao cenário das “mudanças climáticas”.

Palavras-chave: Cerrado “*stricto sensu*”. Cerrado. Mudanças climáticas. Isótopos estáveis. Ciclo do carbono.

ABSTRACT

DIAS, J.D. Isotopic composition and carbon dioxide fluxes in an area of Cerrado (State Park of Vassununga, SP). 2009. 95 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

The present study was carried out in an area of Cerrado "stricto sensu" located at the State Park of Vassununga, close to the Santa Rita do Passa Quatro city, São Paulo State, Brazil. The aim of the present work was to measure CO₂ fluxes released through respiration processes of the vegetation and soil (heterotrophic and autotrophic) to check the relative importance of each of these ecosystem components on the respiration of the overall ecosystem using the isotopic approach. The Keeling plot line was used to determine the isotopic values of carbon dioxide respired by the ecosystem and its components (litter, dead wood, roots, leaves and branches). The results show that isotopic values of the carbon dioxide were significantly affected by seasonality, being more enriched in ¹³C during the wet period. The correlations among δ¹³C-CO₂ values respired by the ecosystem components and the environmental factors such as humidity and temperature indicated a significant relation with the gas exchanges. The δ¹³C-CO₂ values respired by the entire ecosystem were less enriched in ¹³C when there was a high level of water in the soil. This δ¹³C-CO₂ value was 25,26 ‰. Partitioning the ecosystem respiration below and above ground, the data show that 75% of the total respiration has its origin in the belowground (roots + microorganisms). Partitioning the autotrophic and heterotrophic respiration, 54% of the total respiration has its origin in the vegetation. Therefore, for these results, the plant water availability followed by precipitation were the most important factors that contributed to the variability of δ¹³C of organic carbon, δ¹³C-CO₂ respired carbon and fixed by the ecosystem.

The results found in the study are relevant to a better comprehension of the carbon cycle within the Cerrado biome, as well as, open an opportunity to utilize the isotopic approach to define δ¹³C-CO₂ patterns respired by the entire ecological system, utilizing these results as indicators of gas exchange alterations in the global change scenario.

Key words: Cerrado "*stricto sensu*"; Cerrado; Global change; Stable isotopes, carbon cycle

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do Cerrado no Brasil.....	22
Figura 2 - Reservatórios e fluxos de carbono (em bilhões de toneladas).....	26
Figura 3 - Distribuição percentual das espécies de plantas terrestres de ciclos fotossintéticos C3, C4 e CAM.....	32
Figura 4 - Enriquecimento em ^{13}C da matéria orgânica do solo em profundidade.	35
Figura 5 - Posição geográfica do sítio de amostragem situada na gleba "Pé de Gigante", do Parque Estadual de Vassununga, SP.	36
Figura 6 - Balanço hídrico por meio do método de Thornthwaite e Mather (1955) calculado com dados da estação meteorológica do DAEE/SP C4-107, para o período entre 1941 – 1970 em Santa Rita do Passa Quatro, (SP), localizada a $21^{\circ} 36' - 38'S$ e $47^{\circ} 36' - 39'O'$, altitude 740 m. Onde: (—□— P) – Precipitação, (—x— T) – Temperatura atmosférica, (—○— ER) – evapotranspiração real e (—) – déficit hídrico.	38
Figura 7 - Desenho experimental das amostragens da respiração do ecossistema, solo, componentes serapilheira, madeira morta, folha, ramo e raiz.	39
Figura 8 - (A) perfil da torre e (B) amostragem de CO_2 ao longo do perfil da vegetação.....	40
Figura 9 - Sistema de coleta do fluxo de CO_2 respirado pelo solo. Bf: bomba de fluxo de ar; Bt bateria de 12V; Cl: cooler de 12 V; Fe: frasco evacuado (100ml).....	41
Figura 10 - (A) câmara de respiração do solo, e (B) câmara de respiração do solo sem serapilheira.	42

Figura 11 - (A) tradagem do solo, e (B) amostragem do solo.	43
Figura 12 - Câmara de respiração da madeira morta (A), e ramos (B). Ensaio de respirometria (C) e (D).	44
Figura 13 - Coleta do material vegetal (A) madeira morta (B) folhas (C) raízes (D) serapilheira.....	45
Figura 14 - (A) Espectrômetro de massa e (B) Linha de vácuo para medida da concentração de CO ₂	47
Figura 15 - “Keeling plot” da respiração do ecossistema Cerrado Pé de Gigante no mês de Novembro de 2008.	51
Figura 16 - Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira (n=52), madeira morta (n=49), folha (n=48), ramo (n=47), raiz (n=45) e solo (n=48) amostrado no Parque Estadual de Vassununga.	55
Figura 17 - Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ dos componentes amostrados no Parque Estadual de Vassununga, durante as estações seca e chuvosa serapilheira (n=52) madeira morta (n=49), folha (n=48), ramo (n=47), raiz (n=45) e solo (n=48).	56
Figura 18 - Variação dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ do solo da área de Cerrado em relação à profundidade (n=48).	56
Figura 19 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO ₂ respirados pelos componentes serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos n=45 e ensaio de respirometria n=35.	57

Figura 20 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pela serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos (estação seca e chuvosa) n=45 e ensaio de respirometria n=35.	58
Figura 21 - Valores médios do $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pelos componente solo (raízes + microrganismo) e componente vegetal (folha, ramo).	59
Figura 22 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pelos componentes autotrófico n=45 e heterotrófico n=25. Letras diferentes indicam diferenças significativas.....	59
Figura 23 - Média mensal da respiração do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), umidade e temperatura do solo.	60
Figura 24 - Sazonalidade dos fluxos de CO_2 proveniente da respiração do solo durante estação seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças significativas	61
Figura 25 - Fluxos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) da respiração do solo com e sem a presença de serapilheira (n=25) Os dados de precipitação foram fornecidos pela torre micrometeorológica do projeto BIOTA.	62
Figura 26 - Respiração do solo com e sem serapilheira durante as estações seca e chuvosa.	63
Figura 27 - Valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirado pelo solo com e sem a presença da serapilheira obtidos pelo "Keeling plot" (n=25).	64
Figura 28 - Valores médios $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirado pelo ecossistema, amostrado durante a campanha noturna em relação à precipitação. Método "Keeling plot" foi	

realizado para calcular o $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ (n=50). Os dados de precipitação foram fornecidos pela torre micrometeorológica do projeto BIOTA.....65

Figura 29 - Contribuição mensal dos componentes vegetais, raiz e microrganismos para respiração total do Ecossistema.66

Figura 30 - (A) Particionamento da respiração do ecossistema na área do Cerrado “*stricto sensu*” Pé de Gigante; (B) Contribuição percentual de CO_2 dos componentes acima e abaixo do solo para respiração do ecossistema.67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo	19
1.2 Hipóteses	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 O Cerrado.....	21
2.2 Fluxo de Carbono	25
2.3 Definição de isótopos estáveis e fracionamento isotópico	27
2.4 Composição isotópica do carbono na vegetação	29
2.5 Respiração do solo e composição isotópica.....	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 Descrição da área de estudo.....	35
3.2 Caracterização climática	37
3.3 Desenho experimental de amostragem.....	38
3.4 Amostragem	39
3.4.1 Coleta de CO ₂ ao longo do perfil da vegetação (C _{atm} do Cerrado)	39
3.4.2 Fluxo da respiração do solo	40
3.4.3 Amostragem do CO ₂ proveniente da respiração do solo para determinação isotópica solo.....	41
3.4.4 Coleta de solo para análise isotópica em relação à profundidade	42

3.4.5 Amostragem do CO ₂ proveniente do processo de respiração dos componentes serapilheira, folhas, madeira morta e raízes para determinação da composição isotópica	43
3.4.6 Composição isotópica do carbono do orgânico da serapilheira, folhas, madeira morta e raiz	44
3.5 Técnica analítica	46
3.5.1 Carbono orgânico	46
3.5.2 Carbono oriundo do processo respiratório	46
3.5.3 Reta de Keeling	48
3.5.4 Particionamento das fontes respiratórias	51
3.6 Análises estatísticas	54
4 RESULTADOS	55
4.1 Composição isotópica δ ¹³ C da serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos e solo	55
4.2 Composição isotópica δ ¹³ C do solo em relação à profundidade	56
4.3 Composição isotópica do CO ₂ respirado pela serapilheira, madeira morta, folha, ramo, raiz e ensaio de respirometria	57
4.4 Fluxos de CO ₂ proveniente da respiração do solo	60
4.5 Sazonalidade dos fluxos de CO ₂ do solo com e sem a presença da serapilheira	61
4.6 Composição isotópica do dióxido de carbono emitido pelo solo pelo processo de respiração com e sem serapilheira	63
4.7 Respiração do ecossistema	64

4.8 Contribuição percentual mensal e total dos componentes: vegetação, raízes e microorganismos para respiração do ecossistema	65
5 DISCUSSÃO	68
5.1 Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos e solo.....	68
5.2 Composição isotópica do solo em relação à profundidade	69
5.3 Composição isotópica do CO_2 respirado pela serapilheira, madeira morta, folha, ramo, raiz e ensaio de respirometria	70
5.4 Fluxos de CO_2 proveniente da respiração do solo	72
5.5 Sazonalidade dos fluxos de CO_2 do solo com e sem a presença da serapilheira	74
5.6 Respiração do ecossistema	75
5.7 Contribuição percentual e total de CO_2 dos componentes acima e abaixo do solo para respiração do ecossistema.....	77
6 CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

O carbono é um elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas. Ele é utilizado pelos seres vivos, e está presente no ar combinado ao oxigênio, formando as moléculas de gás carbônico presentes na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos. O carbono na forma de CO_2 é movimentado por dois processos naturais. Um deles é a fotossíntese, e através desse processo, os organismos produtores assimilam o gás carbônico atmosférico, transformando-o em moléculas orgânicas. O segundo processo é o de respiração, que libera o carbono na forma de CO_2 para atmosfera. Essa movimentação constituída de fluxos opostos de CO_2 é considerada como um processo cíclico, a qual é denominada de ciclo global do carbono (KIMURA et al., 2004).

Com base em testemunho de gelo de milhares de anos, foram observadas alterações no estado de equilíbrio deste ciclo (CRUTZEL, 2001), que passou a ter mais atenção, a partir da década de 70, quando ficou evidenciado um aumento constante e contínuo da concentração de gás carbônico na atmosfera, em consequência das atividades antrópicas (SOLOMOM et al., 2007; NOAA, 2009; FUNG, 2000; CONWAY et al., 1994). Este aumento na atmosfera tem sido atribuído à queima de combustíveis fósseis, desmatamento e mudanças no uso da terra para expansão agrícola (IPCC, 2007). A grande preocupação da comunidade científica baseia-se no fato de que esse aumento possa provocar mudanças climáticas em nosso planeta, uma vez que o gás carbônico é do ponto de vista quantitativo, o mais importante gás causador do efeito estufa (HOUGHTON, 2005).

Contudo, um dos grandes desafios atuais dos pesquisadores, tem sido a avaliação das dimensões e particularidades dos diversos processos biológicos,

associados aos fluxos de gases de um ecossistema, onde as variações interanuais e sazonais nas condições climáticas em larga escala, exercem grande influência nos processos de trocas gasosas (SCHIMMEL, 1995).

Nesse sentido, caracterizar e quantificar as trocas gasosas e de elementos entre o ecossistema terrestre e a atmosfera, são cruciais para gerar conhecimentos a respeito do ecossistema frente às mudanças climáticas, e como as alterações na concentração de CO₂ na atmosfera podem interferir nos processos de transferência do carbono para a biosfera terrestre (RANDERSON et al., 2002).

Desta forma, investigar a participação do carbono através dos fluxos de CO₂, oriundo dos diversos compartimentos de um ecossistema pelo processo de respiração, contribui sensivelmente para entendimento sobre a dinâmica do carbono em biomas importantes como, por exemplo, o Cerrado. Ao longo das últimas décadas, esta função vem ganhando crescente importância, pois geraram uma gama de conhecimento sobre a capacidade dos ecossistemas terrestres atuarem como fontes ou sumidouros de carbono atmosférico.

Além disso, o Cerrado é potencialmente um grande assimilador e acumulador de carbono, tanto nas entradas de carbono via raízes quanto pelos reservatórios de carbono no solo (ROCHA et al., 2002). E, este pode ser substancialmente modificado pelas atividades antrópicas, afetando assim, as funções hidrológicas, biogeoquímicas e estoques de carbono e nutrientes, levando a modificações na estrutura e funcionamento deste ecossistema (NARDOTO, 2005; BUSTAMANTE, et al., 2006; CARVALHO et al., 2009).

Diante desta questão, vem sendo desenvolvidas pesquisas utilizando as técnicas isotópicas, com intenção de compreender melhor os processos de absorção

e emissão de carbono, que por sua vez, são modulados pelos processos de fotossíntese e respiração (CIAIS et al., 1997).

O uso da técnica isotópica é uma ferramenta de extrema utilidade, pois quantifica e estabelece dentre os diversos compartimentos do ecossistema, sinal isotópico distinto e característico para o CO₂ respirado, sendo utilizada para traçar trocas gasosas entre a biosfera e atmosfera, permitindo uma melhor compreensão das variações locais que ocorrem nas concentrações do CO₂ (BUCHMANN et al., 1997; YAKIR; STERNBERG, 2002; BOWLING et al., 2003; BARNARD et al., 2007). Porém, um dos grandes desafios, é definir a origem desse carbono que é respirado pelo ecossistema terrestre oriundo de vários componentes como solo, madeira morta, serapilheira, microorganismos e vegetação e determinar a contribuição de cada um (BOWLING; COOK; EHLERING, 2001; YAKIR, 2000).

Em decorrência da ampliação dos conhecimentos sobre o funcionamento do ecossistema Cerrado, o presente estudo foi desenvolvido em um fragmento de Cerrado “*stricto sensu*” (Parque Estadual de Vassununga,-SP). Para realização deste trabalho, utilizou-se da técnica de metodologia isotópica para investigar a dinâmica do CO₂ produzido pelo processo de respiração e estimou-se a contribuição relativa dos compartimentos de carbono (solo e vegetação), assim como, determinou-se a variabilidade sazonal e temporal destes. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho são de suma importância para a compreensão das respostas ecofisiológica deste bioma, frente às variações microclimáticas locais, e auxiliar a compreender melhor a dinâmica do carbono.

1.1 Objetivo

O presente estudo teve como objetivo:

- Mensurar os fluxos de CO₂, liberados pelo processo respiratório da vegetação e do solo (autotrófica + heterotrófica), visando aferir a importância relativa destes compartimentos na respiração total do ecossistema, utilizando-se da técnica isotópica;
- Estimar a contribuição relativa dos componentes: serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, microorganismos e solo, utilizando a composição isotópica do carbono, expresso como $\delta^{13}\text{C}$ da molécula de CO₂, liberado pelo processo respiratório;
- Determinar a variabilidade sazonal e temporal, dos valores isotópicos dos compartimentos de carbono oriundo do processo respiratório.

1.2 Hipóteses

O presente estudo investigou as seguintes hipóteses:

- Considerando que o Cerrado apresenta estação seca e úmida bem definida, a composição isotópica do CO₂ respirado pelos componentes serapilheira, raízes, folhas, madeira morta e componente heterotrófico apresentarão enriquecimento durante a estação seca;
- A variabilidade nos valores isotópicos será influenciada pela sazonalidade da precipitação, disponibilidades hídricas no solo, condições microclimáticas (temperatura e umidade) e fisiológicas da vegetação.

- Espera-se que os maiores fluxos de CO_2 do solo, ocorrerão durante o período chuvoso, os quais serão influenciados pelos fatores ambientais como temperatura e umidade, bem como, seus valores isotópicos do CO_2 respirados serão alterados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Cerrado

O Brasil é considerado o país com maior riqueza de biomas e biodiversidade do planeta, sendo os principais: Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Pantanal, Caatinga, Pampas e o Cerrado. Em extensão, o maior é a Floresta Amazônica seguida pelo Cerrado, sendo este último considerado uma área de grande importância ecológica, tanto pela diversidade de flora e fauna, quanto pelas consideráveis taxas de desmatamentos, mudanças no uso da terra para a expansão agrícola e extrativismo (MYERS et al., 2000).

De acordo com Resende et al. (1995) a região do Cerrado brasileiro pode ser definida como um domínio de solo/vegetação/clima formado por um mosaico de diferentes tipos de vegetação, os quais refletem a diversidade de climas, solos e topografia existente nessa região. O Cerrado é um tipo de vegetação que ocorre no Brasil Central como área “core” (FERRI, 1977) e abrange os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Tocantins, oeste da Bahia e de Minas Gerais, sul do Mato Grosso, Maranhão, norte do Piauí e Rondônia, e como área disjunta em outros Estados, tais como Amazonas e norte do Paraná e São Paulo (EITEN, 1990) (Figura 1). Este ecossistema constitui-se como a segunda maior formação vegetal brasileira e da América do Sul, ocupando 22% do território nacional, o que equivale a cerca de 2 milhões de km² (ALHO; MARTINS, 1995).



Figura 1 - Distribuição do Cerrado no Brasil.
Fonte: modificada do IBGE (1993).

A vegetação do Cerrado foi descrita pela primeira vez pelo naturalista K. F. P. Von Martius (1840-1906) em sua obra intitulada *Flora Brasiliensis*, porém, o primeiro estudo ecológico do Cerrado foi desenvolvido por Warming (1892, 1908) na região meridional de Minas Gerais (GOODLAND, 1979; RATTER et al., 2000). Segundo Eiten, (1979), o Cerrado engloba 1/3 da biota brasileira e 5% da flora e fauna mundiais, e é considerado também como “hot pots” (região onde ocorre a existência de espécies endêmicas, espécies restritas e exclusivas de um determinado ecossistema, bem como, o grau de ameaça de devastação de um ecossistema que atinja 75 % ou mais da vegetação nativa) (BORLAUG, 2002). Esse bioma é caracterizado por uma vegetação savânica tropical, composta principalmente de gramíneas, arbustos e árvores esparsas, que dão origem a variados tipos de fisionomias, caracterizadas pela heterogeneidade de sua distribuição. Em sentido “*lato*”, reconhecem-se cinco fisionomias distintas, relacionadas a seguir em ordem crescente de conteúdo de biomassa (do menor ao maior): campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado “*stricto sensu*” e cerradão (GOODLAND, 1971; COUTINHO, 1990).

Estudos, sobre a fisionomia predominante de vegetação na Reserva Pé-de-Gigante em Santa Rita do Passa Quatro - SP comprovaram que este bioma é composto pelas três últimas características fisionômicas acima citadas (BATALHA; MANTOVANI, 2001).

Dentre essas, a atenção maior será dada ao cerrado “*stricto sensu*”, pelo fato deste trabalho ter sido conduzido sobre esta fisionomia. Segundo Ribeiro e Walter (1998), esta fisionomia caracteriza-se pela presença de árvores baixas, tortuosas e com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos e subarbustos são esparsos e apresentam um dossel descontínuo com uma vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, com uma cobertura arbórea de 20 a 50% e altura média de 3 a 6 metros.

Em função de o Cerrado possuir uma vegetação menos densa quando comparado a uma floresta e se situar em geral em terrenos planos, este bioma vem sendo continuamente desmatado pela expansão da fronteira agrícola e aumento da ocupação populacional (BITENCOURT; MENDONÇA, 2004). Em todo o Estado de São Paulo, o Cerrado teve uma drástica redução de 83% de suas áreas no período de 1962 a 2001 sendo da ordem de 1.576.902 ha sendo desmatada. Além dessa expressiva redução, as áreas remanescentes encontram-se extremamente fragmentadas (KRONKA, et al 2005).

A cobertura original de Cerrado no Estado de São Paulo, ocupava cerca de 14% da área total do Estado (SÃO PAULO, 1997), e esta foi sendo reduzida paulatinamente até atingir apenas 1,2% em 2001 (CAVALCANTI; JOLY, 2002). Atualmente, do total de 8350 fragmentos de Cerrado dispersos em pequenas manchas situadas no Vale do Paraíba e Planalto Ocidental Paulista, a área de

remanescentes protegidos em unidades de conservação é de apenas 0,51% (RATTER et al., 1997; DURIGAN et al., 2004).

Estudos experimentais realizados na escala de ecossistema, e modelos de simulação ecológica, demonstraram que mudanças na cobertura vegetal podem trazer mudanças na estrutura e no funcionamento do referido ecossistema, e na dinâmica do carbono, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002).

Os ecossistemas terrestres têm a capacidade de interagir com a atmosfera, através dos processos de fotossíntese e respiração. Essa capacidade é determinada por uma grande variedade de processos físico-químicos e bióticos, atuando em direções e intensidades diferentes (ADUAN et al., 2003).

Desta forma, é imprescindível a necessidade de estudos do fluxo de CO₂ no bioma Cerrado, para a compreensão das interações entre a biosfera e atmosfera, bem como, das conseqüências de possíveis modificações que este bioma possa sofrer, tais como: a mudança no uso do solo, na dinâmica do carbono e nas variações climáticas. Estas mudanças podem comprometer a estrutura e o funcionamento deste ecossistema, acarretando em conseqüências sobre os processos climáticos locais e/ou regionais.

Conservar o bioma Cerrado é garantir a manutenção das espécies que nele se estabeleceram, proporcionando condições favoráveis a sua existência para as gerações atuais e futuras.

2.2 Fluxo de Carbono

O fluxo de carbono no ecossistema é consequência: do tipo de vegetação e das propriedades fisiológicas em seu próprio mecanismo de fotossíntese (como se diferenciam, por exemplo, as plantas C3, C4 e CAM); das condições em que se encontra o ecossistema (sucessões secundárias ou clímax); e da variabilidade climática interanual (um ano com maior ou menor temperatura do que a média histórica, com maior ou menor pluviosidade) (ROCHA et al., 2002). Para uma melhor compreensão, é necessário fazermos uma revisão sobre os reservatórios de carbono, seus fluxos e suas interações.

O elemento carbono distribui-se na natureza da seguinte forma: 0,06% na atmosfera, oceanos, plantas e animais; 99,94% rochas e sedimentos oceânicos (BERNER; LASAGA, 1989). Nota-se, que a maior parte do carbono na Terra está estocada nas camadas geológicas e nos sedimentos oceânicos e estão sob a forma de carbonatos, de carvão e de petróleo.

Entretanto, os três principais reservatórios de carbono capazes de fazer trocas entre si são: atmosfera, oceanos e a biosfera terrestre, e compõem o chamado ciclo biogeoquímico do carbono, cujo nome é dado ao conjunto de processos responsáveis por retirar carbono de um determinado reservatório, fazê-lo participar de compostos e reações em outros reservatórios e após algum tempo devolvê-lo ao reservatório de origem (SCHLESINGER, 1997). As quantidades de carbono transferidas de um reservatório para outro por unidade de tempo, devido aos processos físicos e biogeoquímicos, são conhecidas como fluxos de carbono (Figura 2) (HOUGHTON; WOODWELL, 1989; GRACE, 2001).

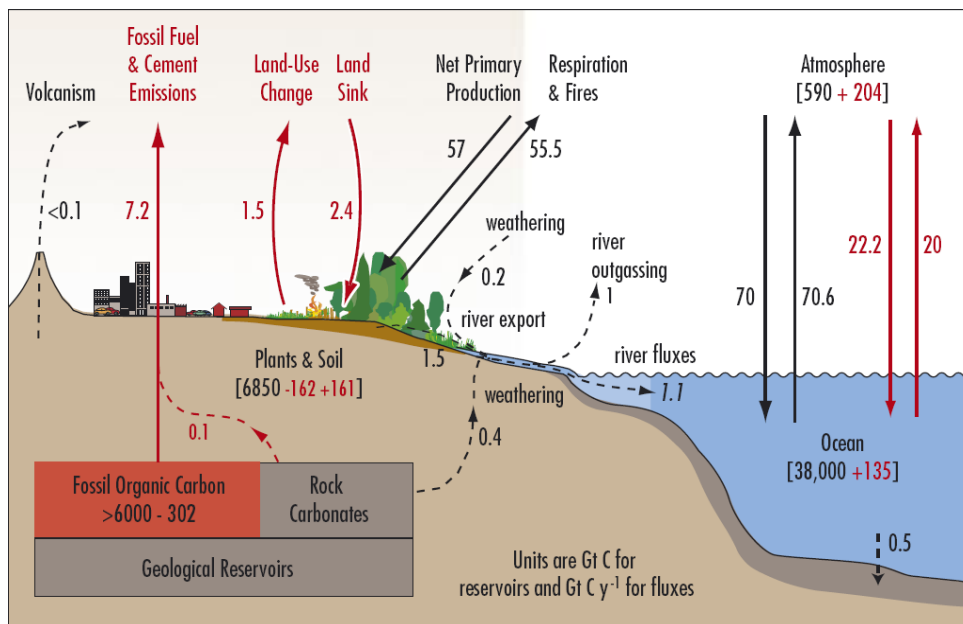


Figura 2 - Reservatórios e fluxos de carbono (em bilhões de toneladas).
Fonte: UNESCO-SCOPE, 2006.

O CO₂ é removido da atmosfera pelo processo de absorção por dois reservatórios: oceanos e vegetação. Estes por sua vez, são regulados pelos processos de fotossíntese e respiração, que exercem o papel de conexão do carbono entre os ecossistemas terrestre e atmosfera (PHILLIPS, 2009).

A cobertura vegetal constitui um reservatório de carbono, responsável pelo fluxo mais intenso de carbono, através da fotossíntese (SCHLESINGER, 1997). Estima-se que a produção bruta retire cerca de 100 GtC/ano na forma de CO₂, sendo que 50 GtC retornam para a atmosfera como respiração e acredita-se que os outros 50 GtC retornem através da decomposição da matéria orgânica na superfície do solo (HOUGHTON; WOODWELL, 1989; SCHLESINGER, 1997).

Além das trocas gasosas entre ecossistema terrestre e a atmosfera, outro grande fluxo bidirecional (oceano-atmosfera) no ciclo global do carbono é controlado pela atividade fotossintética e respiratória da biota marinha. O fluxo entre esses

compartimentos movimentam aproximadamente cerca de 100 GtC/ano (HARARI, 1989; SCHLESINGER,1997).

A atmosfera contém aproximadamente 750 GtC, e estima-se que 560 GtC estejam estocados na cobertura vegetal. Nos continentes, o maior reservatório de carbono encontra-se no solo, 1516 GtC (SCHLESINGER,1997; GRACE 2001). Outra contribuição que merece destaque no ciclo do carbono, é sem dúvida alguma a queima de combustíveis. Estima-se que são lançados anualmente na atmosfera cerca de 6,5 GtC/ano (HOUGHTON; WOODWELL,1989; SCHLESINGER,1997; GRACE, 2001).

Qualquer alteração dos fluxos de entradas e saídas de carbono nos reservatórios naturais poderá afetar de modo acentuado a composição da atmosfera, aumentando as taxas dos gases de efeito estufa. Essa alteração afetará o balanço do carbono nos ecossistema terrestre, através da influência nas taxas de fotossíntese e respiração, bem como, os processos climáticos, quer seja em escala local, regional e/ou global.

2.3 Definição de isótopos estáveis e fracionamento isotópico

O termo isótopo foi criado em 1913 pelo químico inglês Frederick Soddy para designar as diferentes espécies do mesmo elemento. A palavra “isótopo” vem do grego, isos (igual) e topos (lugar), e reside no fato que os isótopos estão situados no mesmo local na tabela periódica. Neste sentido, podemos definir os isótopos como átomos de um mesmo elemento químico cujo núcleo tem o mesmo número atômico (Z), mas diferente massa atômica (A). A massa atômica de um elemento atômico, por sua vez, é a soma de $Z + N$ (nêutrons) no núcleo. Desse modo,

isótopos são átomos que possuem o mesmo número de prótons, e diferente número de nêutrons (DAWSON; BROOKS, 2001).

Um núcleo, ou átomo específico, é uma “espécie” de um elemento que pode ser estável ou radioativo, definido pelo seu único número de prótons (Z) e nêutrons (N). Assim, pode-se definir Isótopos estáveis como aqueles que não emitem radiação e, por não alterarem sua massa ao longo de sua existência, ao contrário dos chamados instáveis ou radioativos que, por sua vez, decaem (mudam suas massas) por emissão de energia ou partículas sub-atômicas ((DAWSON; BROOKS, 2001).

Os isótopos estáveis de muitos elementos químicos são formados por isótopos abundantes e um ou dois isótopos menos abundante. Os isótopos menos abundantes são fontes enriquecidas em ^{13}C e são importantes em estudos de interesses biológicos, bioquímicos e auxiliam como indicadores nas alterações ambientais. No átomo de carbono, o isótopo mais abundante é o ^{12}C , comumente utilizado o termo mais “leve”, e, o átomo de carbono ^{13}C que, por apresentar uma abundância muito menor quando comparada ao isótopo mais abundante, é considerado como mais raro, sendo em termos isotópicos denominados também de mais “pesado” (DAWSON; BROOKS, 2001).

Outro termo bastante utilizado em estudo ambiental é a “discriminação isotópica”, que pode ser definido como a diferença na proporção entre os isótopos estáveis de um determinado composto, capaz de ser sensivelmente detectado ao ser analisado por espectrômetro de massa. Tal diferença ocorre devido à natureza das reações físico-químicas e/ou biológicas, possibilitando desta forma, a discriminação de um isótopo (TRIVELIN, 1976; MARTINELLI et al., 1988). Neste

sentido, o processo de discriminação isotópica pode ser conhecido também como fracionamento isotópico, que, segundo Lopes (2001), pode se resumir em um enriquecimento ou empobrecimento do isótopo de uma amostra (produto) em relação a sua fonte (substrato).

Desta forma, pode-se mencionar como um exemplo clássico de fracionamento isotópico do carbono, o fracionamento realizado durante a fotossíntese. Isto é, durante o processo da fotossíntese, o isótopo de carbono ^{13}C é discriminado, e a fixação do carbono na biomassa vegetal se dá preferencialmente pelo carbono mais leve, o ^{12}C . Essa diferença ocasiona uma diminuição na razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de quase 20‰ relativo ao CO_2 atmosférico, no tecido foliar de plantas C3 (FARQUHAR et al., 1989).

2.4 Composição isotópica do carbono na vegetação

O uso de isótopos estáveis do carbono, nitrogênio, oxigênio, e hidrogênio para o estudo dos processos fisiológicos aumentaram nas três últimas décadas, quando Harmon Craig (1953, 1954) geoquímico, e um dos pioneiros no estudo da abundância natural de isótopos estáveis, realizou medidas isotópicas em plantas e encontrou que os valores isotópicos tinham uma variação de -25‰ a -35‰ (LAJTHA; MARSHALL, 1994). Este experimento inicial foi incapaz de encontrar grandes efeitos taxonômicos ou ambientais nestes valores. No entanto, ajudou a ciência a conduzir idéias importantes na utilização do uso da técnica de isótopos estáveis para o conhecimento nos processos fisiológicos e/ou ecológicos. Desde então, os ecólogos identificaram valores isotópicos baseados não somente em diferentes vias fotossintéticas, como também, em diferenças ecofisiológicas, tais como: uso de eficiência da água, fontes de água, e uso do nitrogênio.

Considerando que as plantas são os principais produtores primários de um ecossistema terrestre, uma grande quantidade de estudos (O'LEARY, 1981; TEERI; STOWE, 1976; FARQUHAR, 1983) foram realizados por fisiologistas vegetais e ecólogos, com a finalidade de compreender melhor o processo de fracionamento do carbono nas diferentes vias fotossintéticas (C3, C4, CAM), e as causas da variabilidade nos valores isotópicos.

As plantas contêm menos ^{13}C do que o CO_2 atmosférico, conseqüentemente são menos “enriquecidas” em ^{13}C relativo à atmosfera. Esta discriminação é causada por processos enzimáticos e físicos e varia entre plantas que apresentam vias fotossintéticas diferentes (FARQUHAR 1983; LAJTHA; MARSHALL, 1994).

Para a maioria das espécies vegetais, a primeira molécula produzida durante o processo fotossintético é formada por três átomos de carbono. Este tipo particular é conhecido como ciclo fotossintético C3. Nas plantas de ciclo fotossintético C3, o fracionamento do carbono ocorre pela: difusão, dissolução e carboxilação. Na carboxilação, a enzima ribulose-1,5 bifosfato carboxilase (RUBISCO) causa um elevado fracionamento, pois essa enzima tem grande afinidade por ^{12}C do CO_2 , conseqüentemente a planta C3 é muito empobrecida em carbono ^{13}C , variando os valores isotópicos entre -35 a -22% . (O'LEARY, 1988; GANNES; DEL RIO; KOCK, 1998).

Em outras plantas, a primeira molécula produzida contém quatro átomos de carbono, sendo este caso particular denominado fotossíntese C4. As plantas ditas C4 usam a via fotossintética Hatch-Slack, em que a enzima de carboxilação fosfenolpiruvato (PEP) carboxilase, reduz o CO_2 a ácido aspártico ou málico, discriminando menos o ^{13}C . Os valores isotópicos das plantas C4 demonstram que o

seu $\delta^{13}\text{C}$ varia de -7 a -16‰ , ou seja, mais pesadas que as plantas C3 (O'LEARY, 1988; MARTINELLI, 1991; FARQUHAR, 1983; LOPES; BENEDITO-CECILIO, 2002).

Na prática, as diferenças fisiológicas de fixação do carbono permitem que as plantas C4 apresentem capacidade fotossintética superior quando em condições de alta luminosidade, alta temperatura e quando não há água em abundância.

Outras espécies de plantas utilizam a via metabólica dos ácidos crassuláceos são conhecidas como CAM (ou MAC do inglês), que possuem as mesmas enzimas utilizadas na via C4, porém, com atividade enzimática diferenciada. Essas plantas fixam o CO_2 durante a noite, usando a PEP-carboxilase com fracionamento comumente encontrado em plantas C4, associado ao de C3, sendo sua variabilidade isotópica registrada entre -10‰ e -28‰ (O'LEARY, 1988, MARTINELLI, 1991; FARQUHAR, 1983; LOPES; BENEDITO CECILIO, 2002; LAJTHA; MARSHALL, 1994)

Com relação à distribuição das espécies vegetais, a maioria que possui ciclo fotossintético C3, é dominante na maioria dos ecossistemas que vão desde regiões boreais ao trópico. Por outro lado, as plantas C4 são encontradas em áreas geograficamente restritas como savanas, pântanos, mangues e pastagens naturais. Já as plantas CAM, são encontradas em áreas de clima árido, com disponibilidade de água reduzida, como as savanas e desertos (MARSHALL, 1994) (Figura 3).

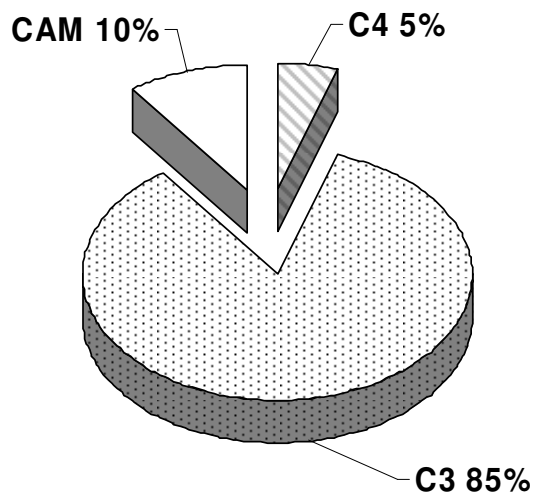


Figura 3 - Distribuição percentual das espécies de plantas terrestres de ciclos fotossintéticos C3, C4 e CAM.
Fonte: (adaptado de O'LEARY, 1988).

2.5 Respiração do solo e composição isotópica

O solo tem um papel muito importante no ciclo do carbono, pois é considerado o principal reservatório de carbono, estocando duas ou três vezes mais carbono do que o existente na atmosfera, e pode atuar como fonte ou sumidouro de carbono (RAICH; SCHLESINGER, 1992; MEIER et al., 1996; DAVIDSON et al., 2000).

Sua interação com os fatores ambientais ainda não é suficientemente compreendida, especialmente para estudos sobre respiração do solo em relação à variação de temperatura ao conteúdo de água e ao manejo do solo em diferentes ecossistemas incluindo o Cerrado, devendo assim, serem explicitados de melhor maneira.

Para se conhecer o movimento do carbono no ecossistema terrestre, e fornecer a real emissão de CO₂ do solo, pode ser feita uma quantificação do fluxo de CO₂, através da avaliação da exportação gasosa de CO₂ do solo para a atmosfera.

Esta informação é de grande relevância para cálculos de seqüestro ou emissão de carbono pelos ecossistemas (FEARNSIDE, 1986).

Desta forma, definiu-se respiração do solo como o processo de emissão de CO₂ do solo para atmosfera, proveniente da respiração das raízes e da atividade da decomposição da matéria orgânica do solo realizada pelos microrganismos, sendo este processo, controlado por fatores ambientais, tais como temperatura e umidade (DAVIDSON et al., 2000). O processo de respiração do solo produz uma grande quantidade de CO₂ e contribui para o fluxo anual deste gás para a atmosfera. Tal fluxo é estimado em 10 vezes maior do que a queima de combustível fóssil (SCHLESINGER, 1997). Considerando que o solo é o principal compartimento de carbono, qualquer alteração no processo da respiração do solo, pode resultar em aumento na concentração CO₂ atmosférica.

A entrada anual de carbono no solo é estimada em torno de 110 Pg C/ano, ou em torno de 15% do CO₂ atmosférico (PAUL; CLARK, 1989), sendo a matéria orgânica do solo a principal fonte de entrada. Desta maneira, o solo recebe matéria orgânica produzida pela comunidade de plantas, e de diversas maneiras converte a maior parte dela em CO₂ (SINGH; GUPTA, 1977; SHIBU et al., 2006). Outra parte da matéria orgânica permanece retida no solo e serve de energia para os microrganismos do solo.

Nos estudos da dinâmica da matéria orgânica do solo, a utilização da técnica de abundância natural de ¹³C é aplicada em situação onde é necessário conhecer o padrão fotossintético da vegetação original, pois se pressupõe que a matéria orgânica acumulada no solo refletirá ao material vegetal do qual foi originado.

Como exemplo, pode-se destacar a substituição de uma floresta que possui, predominantemente, espécies fotossintéticas C3 por savana (C4). A análise isotópica, realizada após essa substituição, apresentará valores de ^{13}C distintos ao longo do perfil do solo, devido a dinâmica da vegetação precedente (MARTINELLI et al., 1996).

Assim, a técnica isotópica na matéria orgânica do solo foi empregada com sucesso em vários estudos conduzidos na Amazônia, cujos resultados demonstraram que ocorre um decréscimo do carbono originado da floresta (C3) na camada superficial do solo quando da substituição da floresta por savana, em virtude de após esse processo, as camadas superficiais apresentarem um maior acúmulo de matéria orgânica e a taxa de decomposição ser mais acelerada, desta forma os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram tendência a ser isotopicamente mais “leves” (LISBOA, 2009; MORAES et al., 1996; NIELL et al., 1997; BERNOUX et al., 1998; MARTINELLI et al., 1999).

Por outro lado, como normalmente o solo acumula carbono de forma relativamente contínua, as camadas mais profundas normalmente contêm carbono mais antigo incorporado em tempos passados, pelo processo de lessivagem, e isso, representa em termos isotópicos, valores mais “pesados”. Outro comportamento conhecido é que durante o processo da decomposição da matéria orgânica do solo, a matéria enriquecida em ^{13}C vai sendo incorporada às camadas mais profundas do solo, como mostra a Figura 4 (MARTINELLI et al., 1999; CERRI et al., 1985; NADELHOFFER; FRY, 1988). Essas tendências, também foram observadas em estudos conduzidos na região do Cerrado (predominância de plantas C4) por Bustamante et al. (2004).

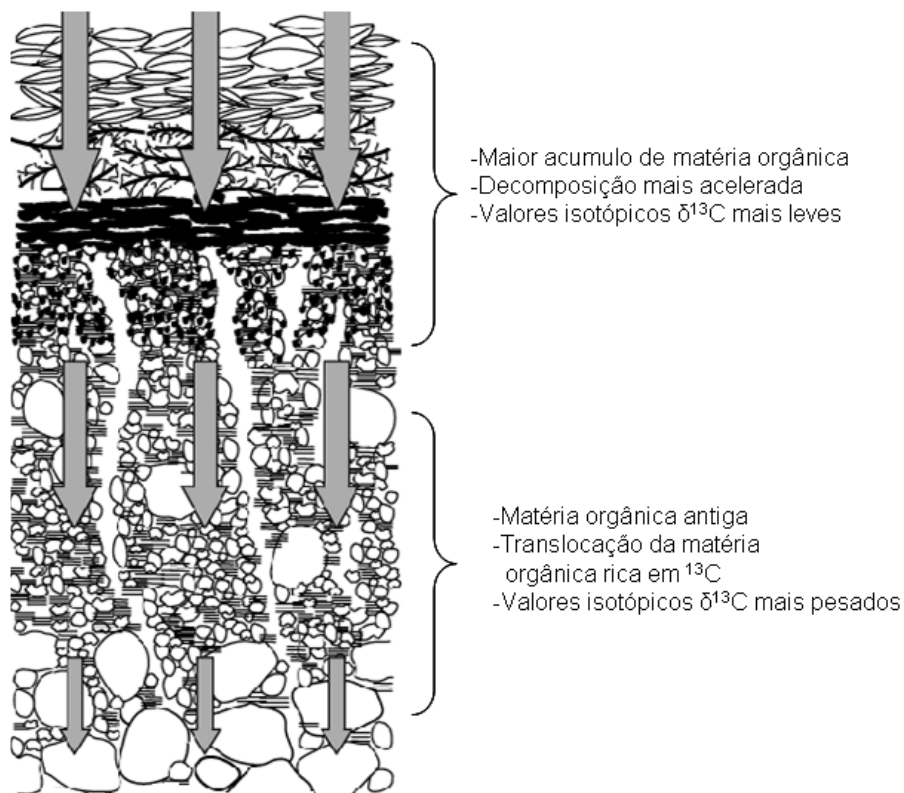


Figura 4 - Enriquecimento em ^{13}C da matéria orgânica do solo em profundidade.
Fonte: adaptado de Tandarich et al. (2002).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da área de estudo

As coletas foram realizadas na Gleba Pé de Gigante, localizada no Parque Estadual de Vassununga, município de Santa Rita do Passa Quatro, São Paulo. As coordenadas são $21^{\circ} 36' 38''$ S e $47^{\circ} 36' 39''$ O. A referida unidade de conservação situa-se à margem da Rodovia Anhanguera (SP 330, entre os Km 255 – 258), possuindo 1225 ha e uma altitude variando entre 660 e 730 m. Das seis glebas disjuntas que constituem o Parque Estadual de Vassununga, a Gleba Pé de Gigante é a única com vegetação de Cerrado “*stricto sensu*”, sendo as outras cinco cobertas por floresta estacional semidecidual. Mais detalhes podem ser encontrados em Shida (2000), Shida (2005) e Pires et al. (2005).

A área estudada é caracterizada por vegetação típica de cerrado “*stricto sensu*” (80%), cuja fisionomia é caracterizada por arbustos que apresentam altura inferior a 12 m (EITEN, 1994).

O nome Pé de Gigante se deve a um rebaixamento no interior da Unidade de Conservação com o aspecto de uma pegada gigante (Figura 5), provavelmente causado por erosão das cabeceiras do córrego Paulicéia (BITENCOURT; PIVELLO, 1998).

Os solos apresentam predominância do tipo Latossolo Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho-escuro e Areia Quartzosas (PIVELLO et al., 1998; COOPER et al., 2005), que são geralmente pobres em nutrientes (distrófico), com alta saturação de alumínio e baixa capacidade de troca catiônica e teor de argila menor que 15% (PIVELLO et al., 1998).

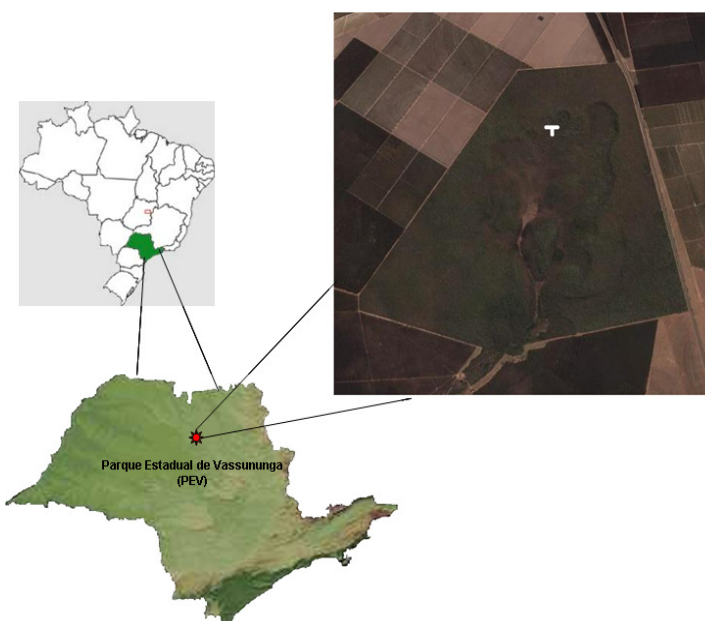


Figura 5 - Posição geográfica do sítio de amostragem situada na gleba “Pé de Gigante”, do Parque Estadual de Vassununga, SP.
Fonte: CPTEC (2008).

3.2 Caracterização climática

O tipo de clima da área em questão é classificado no sistema Koppen como Cwa: “C” em função das temperaturas médias mensais, que variam entre 17,6°C, no mês mais frio (junho) e 23,5°C no mês mais quente (fevereiro), e da precipitação média anual de 1500 mm; a letra “w” refere-se à distribuição ou à sazonalidade da precipitação ao longo do ano, que é concentrada no verão; o “a” resulta da média do mês mais quente (PIRES NETO et al., 2005).

A região tem uma estação seca com baixos índices de precipitação (menores que 30 mm), definida entre maio e setembro, e com umidade relativa média mensal entre 65 e 80% (ROCHA et al., 2002). É comum a ocorrência o fenômeno de geada na região do Parque Estadual de Vassununga, provocando danos à vegetação. No entanto, a frequência de ocorrência deste evento se comparado a região sul do Brasil, é menor, ocorrendo entre cinco e dez vezes por ano na região sul, enquanto na região próxima a Santa Rita do Passa Quatro há uma probabilidade de ocorrência de 20% (CEPAGRI/UNICAMP, 2002; PIRES NETO et al., 2005).

O cálculo do balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) para o período de 1941 a 1970 com dados fornecidos pela estação meteorológica do DAEE/SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica) em Santa Rita do Passa Quatro, indica déficit hídrico no solo entre abril e setembro (Figura 6), com a maior concentração das chuvas entre os meses de novembro e fevereiro, assim como as maiores temperaturas.

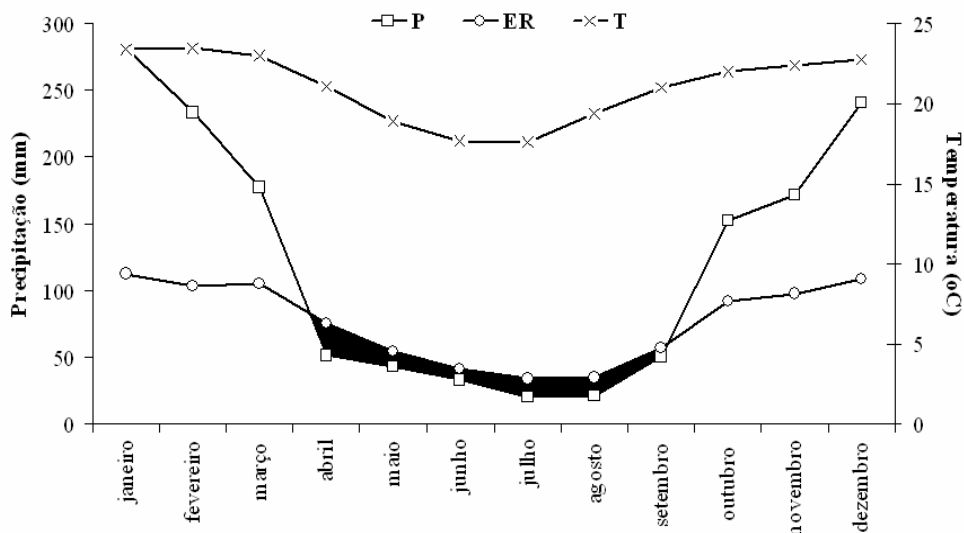


Figura 6 - Balanço hídrico por meio do método de Thornthwaite e Mather (1955) calculado com dados da estação meteorológica do DAEE/SP C4-107, para o período entre 1941 – 1970 em Santa Rita do Passa Quatro, (SP), localizada a 21° 36 – 38'S e 47° 36 – 39'O', altitude 740 m. Onde: (–□– P) – Precipitação, (–x– T) – Temperatura atmosférica, (–○– ER) – evapotranspiração real e (—) – déficit hídrico.

Fonte: Ribeiro (2006).

3.3 Desenho experimental de amostragem

As coletas foram realizadas entre o período de abril 2006 até novembro de 2008, porém, as campanhas trimestrais somente foram realizadas de março de 2007 a novembro de 2008.

As amostragens – para determinação da composição isotópica dos componentes orgânicos (serapilheira, madeira morta, folha, ramo e raiz), do CO₂ produzido pela respiração da decomposição destes materiais e pela respiração do solo – foram realizadas em uma área pré-estabelecida nas parcelas de estudos ecofisiológicos (área 300m próxima da torre de fluxo), composta por 20 parcelas medindo 10 X 10 m, constituindo um transecto de 20 X100m (0,2 ha) (Figura 7)

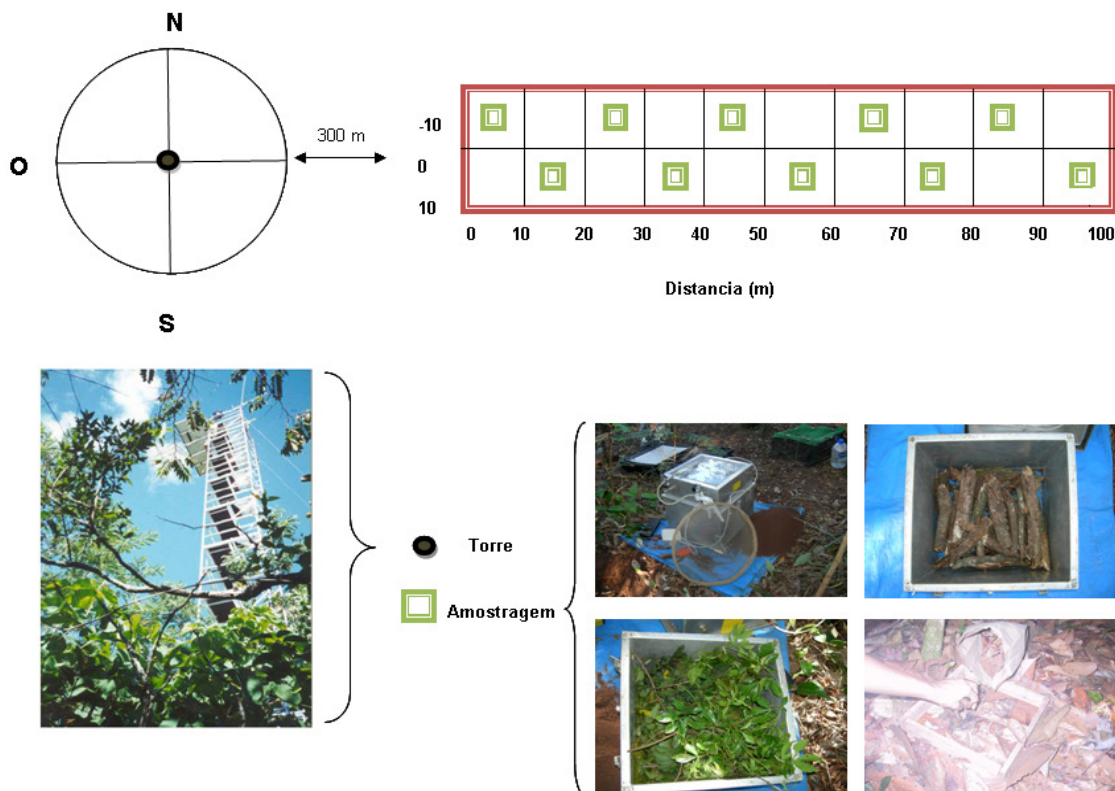


Figura 7 - Desenho experimental das amostragens da respiração do ecossistema, solo, componentes serapilheira, madeira morta, folha, ramo e raiz.

3.4 Amostragem

3.4.1 Coleta de CO₂ ao longo do perfil da vegetação (C_{atm} do Cerrado)

As coletas de CO₂ foram realizadas em campanhas trimestrais durante um período de 2 anos. A coleta se deu a partir de tubos (Decoron) instalados na torre de fluxo nas alturas de 0,2, 6, 14 e 18 metros, compondo cinco repetições realizadas a intervalos de 30 minutos. Através de uma bomba peristáltica (Capex V2X) instalada na superfície do solo, a amostra gasosa das alturas citadas foi succionada e armazenada em frascos de vidro de 100 ml através de duas válvulas de teflon (EHLERINGER; COOK, 1998). Para maior estabilidade da amostra de CO₂, estas passaram previamente por um tubo dessecante contendo perclorato de magnésio (Mg(ClO₂)₄ – anidro) (Figura 8A e 8B).

As amostras foram conduzidas para análises isotópicas no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).

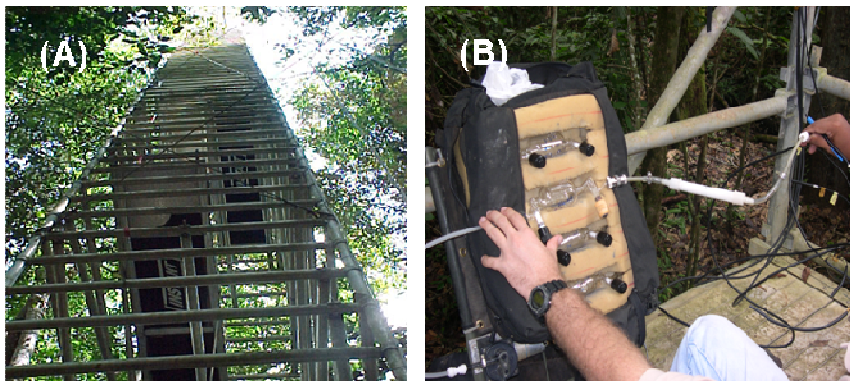


Figura 8 - (A) perfil da torre e (B) amostragem de CO₂ ao longo do perfil da vegetação.

3.4.2 Fluxo da respiração do solo

As amostras de CO₂ provenientes da respiração do solo foram coletadas em frascos de vidro previamente evacuados e conectados a uma câmara de alumínio (50 cm x 39 cm x 39 cm) fixada sobre a superfície do solo a uma profundidade de 5 cm. Em intervalos de cinco minutos, durante o aumento na concentração de CO₂ no interior da câmara, cinco amostras foram capturadas e armazenadas em frascos de vidro pré-evacuados (Figura 9).

A concentração do CO₂ armazenado nos frascos de vidro foi avaliada no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em sistema descrito por Bowling et al. (2001) que será melhor detalhada a seguir em técnicas analíticas.

A variação da concentração de CO₂ na câmara foi utilizada para calcular o fluxo de CO₂ do solo para atmosfera, por regressão linear, seguindo a metodologia desenvolvida por Davidson et al. (2002).

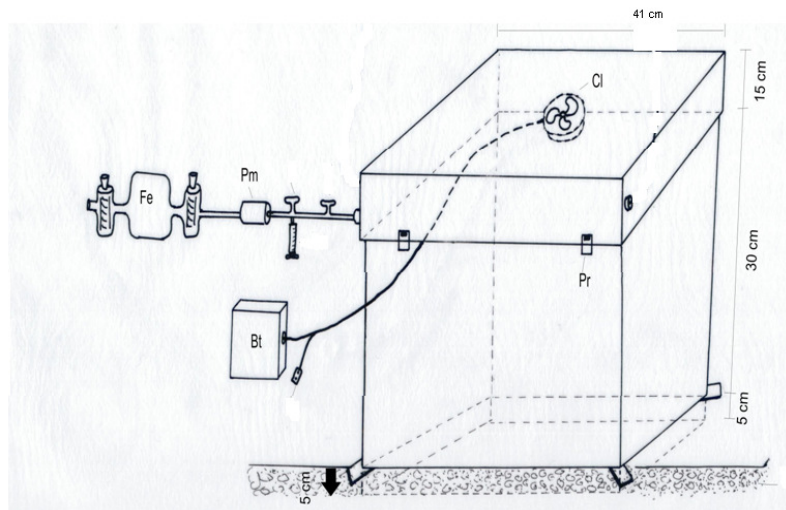


Figura 9 - Sistema de coleta do fluxo de CO_2 respirado pelo solo. Bf: bomba de fluxo de ar; Bt bateria de 12V; Cl: cooler de 12 V; Fe: frasco evacuado (100ml).
Fonte: adaptado de Galvão (2005).

3.4.3 Amostragem do CO_2 proveniente da respiração do solo para determinação isotópica solo

Seguindo a metodologia empregada por Flanagan et al. (1997), amostras de CO_2 proveniente da respiração do solo para determinação do $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ respirado foram coletadas em frascos de vidro previamente evacuados e conectados a uma câmara de alumínio, seguindo os primeiros passos metodológicos descrito anteriormente. Em seguida, as amostras de ar do solo foram secas através de um tubo contendo perclorato de magnésio instalado entre a câmara e os frascos.

Todas as amostragens foram realizadas no intervalo entre 8:00 e 16:00 hs. Para avaliar a contribuição dos componentes com e sem serapilheira na respiração do solo, um total de 30 frascos de gás do solo foram coletados, sendo 15 com presença da serapilheira e 15 sem serapilheira no interior das câmaras (Figuras 10 A e B), após serem coletados, os frascos foram enviados ao Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP em Piracicaba (SP).

Neste caso uma equação de reta $y = a + bx$, foi construída com os seguintes parâmetros: $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 , versus a concentração de CO_2 coletados no interior da câmara. Portanto, neste caso teremos: $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$ da câmara = $b [1/\text{CO}_2 \text{ da câmara}] + \delta^{13}\text{C solo}$.



Figura 10 - (A) câmara de respiração do solo, e (B) câmara de respiração do solo sem serapilheira.

3.4.4 Coleta de solo para análise isotópica em relação à profundidade

As coletas de amostras de solo ao longo do perfil foram realizadas 2 (duas) vezes para cada estação, seca (junho e setembro) e chuvosa (fevereiro e maio). As amostras de solo foram coletadas com trado de diâmetro de 6 cm^3 , próximo as câmaras de amostragem, nas profundidades: 0 a 5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm; 15-20 cm; 20-25 cm; 25-30 cm. Para cada profundidade retirou-se quatro sub amostras que foram homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta (Figuras 11 A e B).

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificadas e conduzidas ao laboratório do CENA-Piracicaba, (SP) e passaram pelo seguinte processo : secagem em estufa (60°C) por 24 horas, moídas, peneiradas (malha de 2 mm), e em seguida foram retiradas as raízes e contaminantes. Após a homogeneização das amostras alicotas de 15 a 20 mg foram

pesadas em cápsulas de estanho (8×5mm), e em seguida foram enviadas à análise da composição isotópica do carbono orgânico.



Figura 11 - (A) tradagem do solo, e (B) amostragem do solo.

3.4.5 Amostragem do CO₂ proveniente do processo de respiração dos componentes serapilheira, folhas, madeira morta e raízes para determinação da composição isotópica

Todos os componentes – serapilheira, folhas, madeira morta e raízes – foram coletados aleatoriamente nas 20 parcelas próximas a torre. Em seguida, este material foi alocado no interior da câmara de alumínio que por sua vez, foi colocada sobre uma lona plástica (Figuras 12 A e B) para evitar o contato direto do material vegetal com o solo. Esta metodologia teve como objetivo obter amostras do CO₂ respirado por cada componente vegetal, visando determinar sua composição isotópica.

Adicionalmente, com a finalidade de separar o fluxo de CO₂ entre respiração autotrófica e heterotrófica, utilizou-se a metodologia de respirometria. Eliminaram-se as raízes e todo material vegetal da amostra de solos utilizando uma peneira (Figura 12 C) de modo a assegurar que o CO₂ amostrado fosse resultante essencialmente da respiração de microorganismos (SALIMON, 2003). O solo desprovido das raízes

foi colocado no interior da câmara, posteriormente foi fechada e vedada. Esse processo de coleta foi realizado utilizando a mesma metodologia de coleta do CO₂ respirado pelos componentes vegetais (Figura 12D).

Da mesma forma que para o solo, as amostras de CO₂ provenientes do componente orgânico de origem autotrófica e ensaio de respirometria, foram avaliadas para se construir o “Keeling plot”.



Figura 12 - Câmara de respiração da madeira morta (A), e ramos (B). Ensaio de respirometria (C) e (D).

3.4.6 Composição isotópica do carbono do orgânico da serapilheira, folhas, madeira morta e raiz

A frequência das coletas foi trimestral, realizadas entre o período de março de 2007 a novembro de 2008. As amostragens do material orgânico foram realizadas simultaneamente, logo após a coleta dos frascos com amostras das moléculas de CO₂ proveniente do componente orgânico de origem autotrófica (serapilheira, folhas, madeira morta e raiz). Foram coletadas 5 (cinco) amostras do

material adicionado ao interior das câmaras (serapilheira, madeira morta, folha e raiz), sendo posteriormente armazenadas em sacos plásticos devidamente identificadas.

Todo o material vegetal foi seco em estufa ventilada a 60°C e moído, com a finalidade de se obter os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do material orgânico ($^{13}\text{C}_{\text{org}}$). Todas as amostras foram conduzidas e analisadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA Piracicaba (SP) (Figura 13 A,B,C,D).

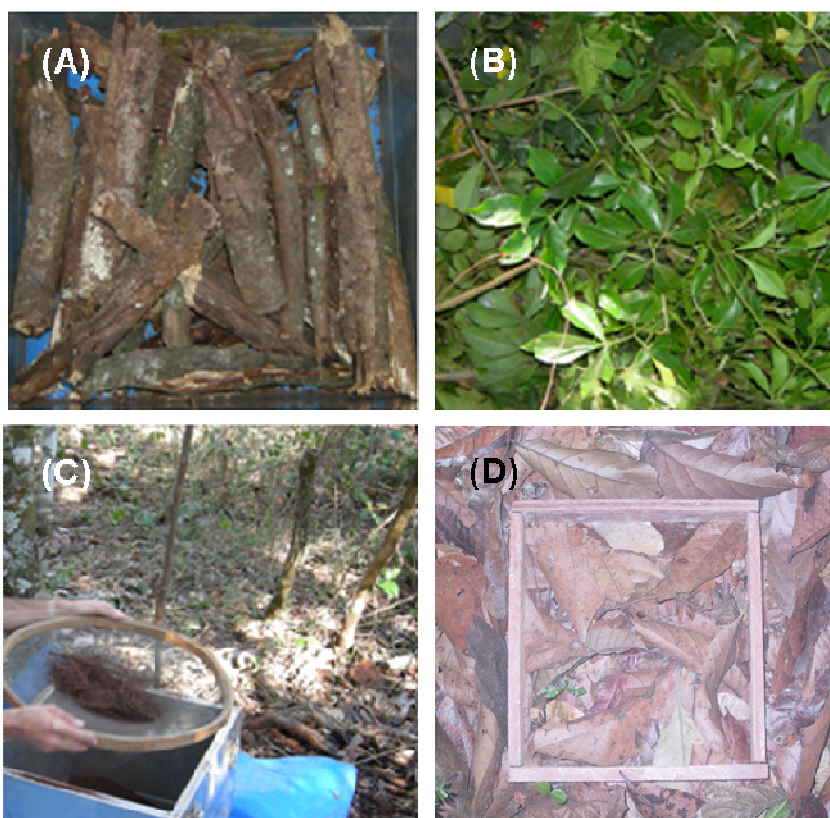


Figura 13 - Coleta do material vegetal (A) madeira morta (B) folhas (C) raízes (D) serapilheira.

3.5 Técnica analítica

3.5.1 Carbono orgânico

Das amostras de material orgânico, cerca de 1,5 mg foram acondicionadas em cápsulas de estanho para leitura em um analisador elementar de combustão (Carlo Erba), em série com um espectrômetro de massa (Delta Plus, Finnigan Mat, San José, CA, USA), operando em fluxo contínuo. A partir dos resultados destas análises, foram determinadas as razões isotópicas do carbono ($\delta^{13}\text{C}$), assim como a concentração destes elementos (C%). Os valores isotópicos foram expressos em notação “delta” e por mil (‰) descrito a seguir:

$$\delta = 1000 \left(\frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \right) \quad (1)$$

Onde R representa a razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra e do padrão, respectivamente.

O padrão internacional utilizado para o carbono é originado de uma rocha do fóssil Belemnitella norte-americana da formação Pee Dee (PDB). O erro analítico para o $\delta^{13}\text{C}$ foi de 0,3 ‰. A atropina foi utilizada como referência para as amostras vegetais.

3.5.2 Carbono oriundo do processo respiratório

A razão do isótopo estável da molécula de $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$ coletado nos frascos, foi determinada utilizando-se um pré-concentrador (PreCon, Finnigan MAT) acoplado a um espectrômetro de massa (Modelo Delta Plus, Finnigan MAT, Bremen, Germany) em fluxo contínuo. Uma sub-amostra de gás do frasco (cerca de 300 μL) foi injetada no PreCon onde o gás carreador (hélio) conduziu a amostra a capilares

imersos em nitrogênio líquido para que fosse criogenicamente concentrada. A amostra foi então conduzida a uma coluna cromatográfica de 25 m para ocorrer a separação do CO₂ e N₂O. A metodologia para análises isotópicas em pequenas amostras (ex., frascos de 100 ml) foi primeiramente descrita por Ehleringer e Cook (1998). A precisão desta técnica é estimada em 0,13‰ para o ¹³C.

Após a análise isotópica, a amostra de gás restante no frasco foi utilizado para medir a concentração de CO₂ em sistema descrito por Bowling et al. (2001). O frasco foi anexado a uma linha de vácuo (tubo de aço inoxidável) conectado a um balão pneumático sanfonado. Através de diferenças de pressão, o gás do frasco foi transferido para este balão, que a seguir injetou-se a amostra na célula de leitura do analisador de CO₂ (LI-6262, LiCor, Lincoln, NB, USA). A célula de análise foi ventilada por um gás padrão de concentração conhecida a cada dez amostras. A precisão apurada desta técnica é de 0,2 e 0,3 ppm (Bowling et al., 2001). (Figuras 14 A e B).

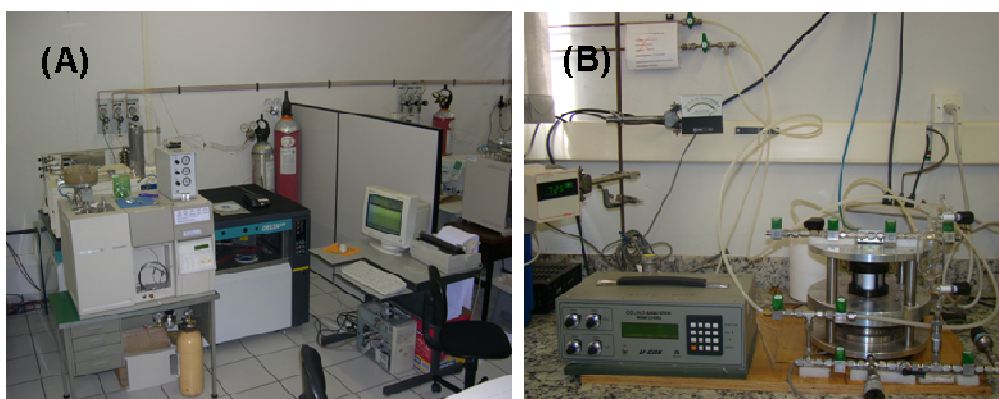


Figura 14 - (A) Espectrômetro de massa e (B) Linha de vácuo para medida da concentração de CO₂.

Fonte: J. D. Dias.

3.5.3 Reta de Keeling

Com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da molécula de CO_2 respirado obtidos através do espectrômetro de massas, foi utilizado o modelo de mistura desenvolvido por Keeling (1958), conhecida também como reta de “Keeling”, que pode ser definida como uma equação linear derivada por meio de um balanço de massa, pela qual é calculada a razão isotópica do CO_2 respirado ($\delta^{13}\text{C}_{\text{biogênico}}$) pelo ecossistema do Cerrado. Estimativas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{biogênico}}$ foram obtidas pelo intercepto oriundo da regressão linear $y = a + bx$ (SOKAL; ROHLF, 1995), utilizando-se valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{atm}}$ que sofrem influência da respiração, que se processa nos vários compartimentos do ecossistema e $1/[\text{CO}_{2\text{atm}}]$. Para se obter esta reta, foram coletadas amostras de CO_2 da atmosfera em horários distintos durante o dia e a noite, e também ao longo do dossel da vegetação, utilizando-se a torre micrometeorológica.

O mesmo procedimento foi aplicado, para se obter os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da molécula de CO_2 produzida durante o processo de respiração feita pelos organismos do solo, microrganismos decompositores de madeira morta depositada na superfície do solo, serapilheira, folhas e raízes vivas. Nestes casos coletou-se o CO_2 produzido por estes compartimentos, isolando-os em câmara fechada, como descrita anteriormente.

A série de equações abaixo demonstra a dedução utilizada para se obter a equação de reta:

$$\delta^{13}C_{\text{atm}} = b [1/\text{CO}_2] + a \quad (2)$$

$$C_{\text{atmosfera}} + C_{\text{biogênico}} = C_{\text{cerrado}} \quad (3)$$

Onde:

$$C_{biogênico} = C_{vegetação} + C_{raízes} + C_{serapilheira} + C_{solo} \quad (4)$$

Multiplicando-se a equação pelos seus respectivos valores de $\delta^{13}\text{C}$ tem-se:

$$(C_{atmosfera} \times \delta^{13}C_{atmosfera}) + (C_{biogênio} \times \delta^{13}C_{biogênio}) = (C_{cerrado} \times \delta^{13}C_{cerrado}) \quad (5)$$

Se:

$$C_{biogênico} = C_{cerrado} - C_{atmosfera} \quad (6)$$

Substitui-se o $C_{biogênico}$ na Equação acima (Eq.6 em Eq. 5):

$$(C_{atmosfera} \times \delta^{13}C_{atmosfera}) + \delta^{13}C_{biogênio} \times (C_{cerrado} - C_{atmosfera}) = (C_{cerrado} \times \delta^{13}C_{cerrado}) \quad (7)$$

Dividindo todos os termos por $C_{cerrado}$:

$$\frac{(C_{atmosfera} \times \delta^{13}C_{atmosfera})}{C_{cerrado}} + \frac{\delta^{13}C_{biogênio} \times (C_{cerrado} - C_{atmosfera})}{C_{cerrado}} = \frac{(C_{cerrado} \times \delta^{13}C_{cerrado})}{C_{cerrado}} \quad (8)$$

Desenvolvendo a Equação (8):

$$\delta^{13}C_{atmosfera} \times \frac{C_{atmosfera}}{C_{cerrado}} + \delta^{13}C_{biogênio} - \delta^{13}C_{biogênio} \frac{(C_{atmosfera})}{C_{cerrado}} = \delta^{13}C_{cerrado} \quad (9)$$

Rearranjando a Equação (9):

$$\delta^{13}C_{cerrado} = \delta^{13}C_{biogênio} + (\delta^{13}C_{atmosfera} - \delta^{13}C_{biogênio}) \times \frac{C_{atmosfera}}{C_{cerrado}} \quad (10)$$

Comparando-se com uma equação linear:

$$y = a + b \times x \quad (11)$$

Onde,

$$Y = \delta^{13}C_{\text{atm do Cerrado}}$$

$$a = \delta^{13}C_{\text{biogênico}}$$

$$b = (\delta^{13}C_{\text{atmosfera}} - \delta^{13}C_{\text{biogênico}}) \cdot C_{\text{atmosfera}}$$

$$x = 1/C_{\text{atm do Cerrado}}$$

O $\delta^{13}C$ da atmosfera sob influência da vegetação do Cerrado ($\delta^{13}C_{\text{atm do Cerrado}}$), é inversamente relacionado como a concentração de CO_2 contida no interior da vegetação do Cerrado ($C_{\text{atm do Cerrado}}$). Portanto, se plotarmos os valores de $\delta^{13}C_{\text{atm do Cerrado}}$ em relação ao inverso da concentração de CO_2 ($1/C_{\text{atm do Cerrado}}$) deveremos ter uma reta crescente, sendo o valor “a” equivalente ao $\delta^{13}C_{\text{biogênico}}$, que por sua vez é composto pela contribuição relativa de vários compartimentos já citados acima.

A Figura 15 ilustra uma reta de “Keeling” construída com dados obtidos no Cerrado Pé de Gigante, durante a campanha de novembro de 2008. Neste caso o $\delta^{13}C$ biogênico foi igual a -23,52‰.

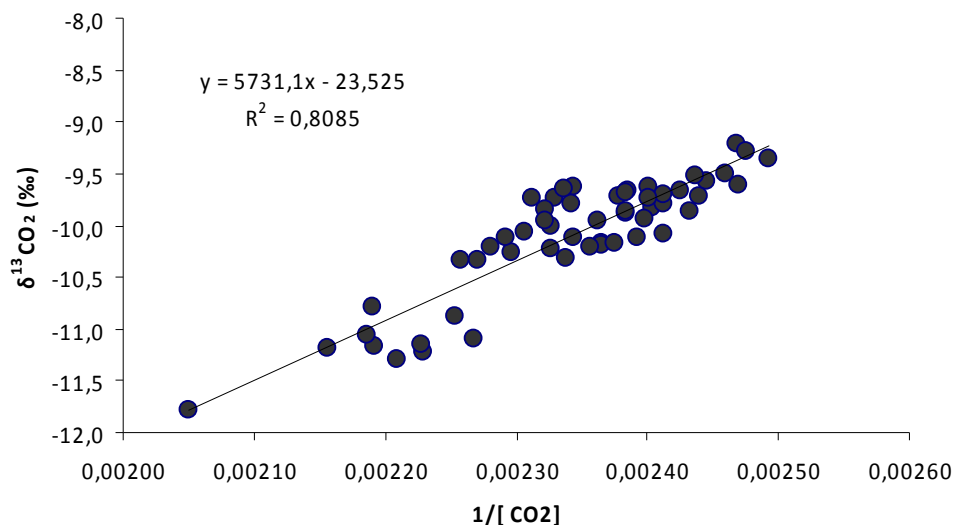


Figura 15 - “Keeling plot” da respiração do ecossistema Cerrado Pé de Gigante no mês de Novembro de 2008.

3.5.4 Particionamento das fontes respiratórias

Particionar a respiração do ecossistema é a melhor forma de se conhecer as suas principais fontes respiratórias contribuintes, e suas importâncias na dinâmica do ciclo do carbono de um determinado ecossistema, como por exemplo, o Cerrado.

Neste sentido, como tentativa de compartimentar respiração do ecossistema e suas fontes respiratórias contribuinte utilizou-se a metodologia desenvolvida por Tu; Dawson, (2005). Para tal, foi preciso obter valores isotópicos respirados pelo ecossistema, e pelos compartimentos autotróficos e heterotróficos, como já descrito anteriormente nas metodologias.

A respiração do ecossistema foi obtida a partir da construção de um “Keeling plot”, onde se integrou os dados coletados na torre durante o período estudado 2006 a 2008.

Os valores considerados acima do solo foram obtidos através da respiração da vegetação. Para isso, utilizaram-se as médias dos valores isotópicos respirados pelas folhas do topo, bosque e sub-bosque.

Abaixo do solo (raízes + microorganismos), foi considerada a média dos valores isotópicos respirado pelas raízes, e em relação aos microorganismos foram utilizadas as médias dos valores isotópicos da matéria orgânica do solo.

Para avaliar a contribuição de cada componente para a respiração total do ecossistema, foi utilizado o balanço de massa, aplicando-se o modelo de Tu e Dawson (2005).

A respiração do ecossistema (R_{Eco}) pode ser expressa como a soma das respirações acima do solo (R_{acima}) e abaixo do solo (R_{abaixo}):

$$R_{Eco} = R_{acima} + R_{abaixo} \quad (12)$$

Multiplicando-se as respirações pelos seus respectivos valores isotópicos conforme descrito por Bowling et al., (2001) temos:

$$\delta_{Eco} R_{Eco} = \delta_{acima} R_{acima} + \delta_{abaixo} R_{abaixo} \quad (13)$$

$$\delta_{abaixo} R_{abaixo} = \delta_{raiz} R_{raiz} + \delta_{mic} R_{mic} \quad (14)$$

Reorganizando a respiração de ecossistema acima do solo ($F_{acima} = R_{acima}/R_{Eco}$) e a respiração abaixo do solo (raízes) ($f = R_{raiz}/R_{abaixo}$), respectivamente, temos :

$$F_{acima} = \left(\frac{\delta^{13} eco - \delta^{13} abaixo}{\delta^{13} acima - \delta^{13} abaixo} \right) \quad (15)$$

$$f_{raiz} = \left(\frac{\delta^{13} \text{abaixo} - \delta^{13} \text{mic}}{\delta^{13} \text{raiz} - \delta^{13} \text{mic}} \right) \quad (16)$$

Reorganizando a duas expressões obtemos a respiração de ecossistema através da contribuição das fontes abaixo do solo (F_{abaixo}), raiz (F_{raiz}), e microorganismos (F_{mic}) determinadas por:

$$F_{\text{abaixo}} = 1 - F_{\text{acima}} \quad (17)$$

$$F_{\text{raiz}} = f_{\text{raiz}} * F_{\text{abaixo}} \quad (18)$$

$$F_{\text{mic}} = 1 - F_{\text{acima}} - F_{\text{raiz}} \quad (19)$$

3.6 Análises estatísticas

Para testar a normalidade foi utilizado o teste de Komolgorov-Smirnov (SOKAL; ROHLF, 1997). Como os dados apresentaram distribuição normal, foi aplicada análise de variância (ANOVA) para os dados de $\delta^{13}\text{C}$ respirado pelos componentes folha, serapilheira, madeira morta, raízes e solo, bem como, para os dados isotópicos do material orgânico vegetal. Detectada a significância ANOVA (5%), as médias de cada parâmetro avaliado assim como as interações sazonais foram testadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para relacionar os valores isotópicos da respiração do ecossistema com umidade, temperatura e precipitação foi utilizada análise de regressão linear.

Da mesma forma, aplicou-se a regressão linear para obter os valores do fluxo de CO_2 do solo, composição isotópica do carbono respirado pelo ecossistema e pelos compartimentos de origem autotrófica (folha madeira morta, raízes, serapilheira) através dos valores do intercepto y, como também foram calculados o erro padrão para cada reta de “Keeling”.

Para todas as análises estatísticas foi utilizado o programa estatístico Statística versão 6.1 (STATSOFT 2006), sendo também utilizado para a confecção dos gráficos.

4 RESULTADOS

4.1 Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos e solo

Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos variaram entre -24,1 e -31,1‰. A matéria orgânica do solo apresentou valores entre -23,9 e -27,5‰. Não foi observada diferença estatística entre madeira morta, ramo, raiz e a matéria orgânica do solo. Contudo, observou-se diferença entre a matéria orgânica do solo com a serapilheira e folha. A Figura 16 apresenta a variabilidade nos valores isotópicos dos diversos componentes do sistema estudados.

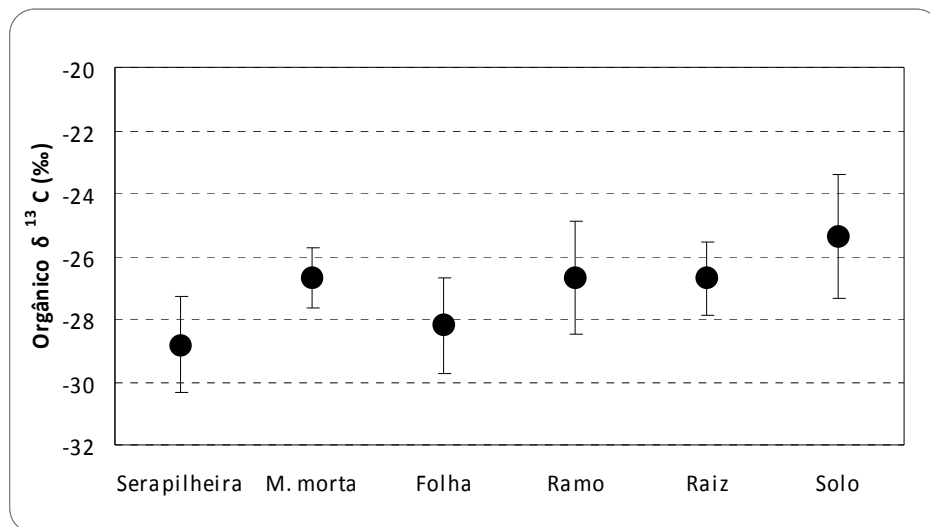


Figura 16 - Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira (n=52), madeira morta (n=49), folha (n=48), ramo (n=47), raiz (n=45) e solo (n=48) amostrado no Parque Estadual de Vassununga.

No período estudado não foram observadas diferenças estatisticamente significativa entre os valores isotópicos médios para as estações seca e chuvosa, para os diferentes componentes analisados (Figura 17).

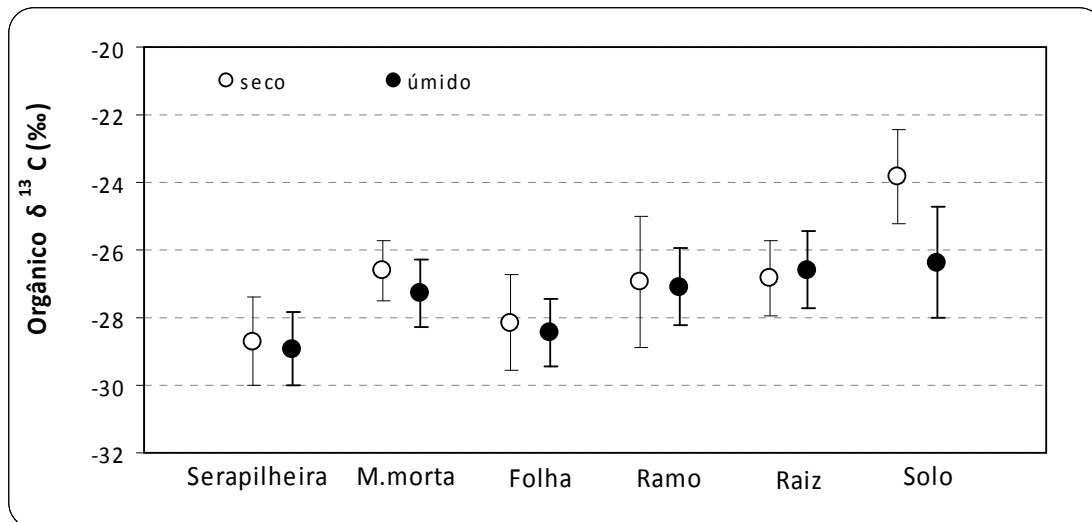


Figura 17 - Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ dos componentes amostrados no Parque Estadual de Vassununga, durante as estações seca e chuvosa serapilheira (n=52) madeira morta (n=49), folha (n=48), ramo (n=47), raiz (n=45) e solo (n=48).

4.2 Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ do solo em relação à profundidade

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ do solo variaram de acordo com a profundidade, sendo que a camada de 0 a 5 cm apresentou valor semelhante a cobertura vegetal presente -28‰, e a 30 cm observou-se um enriquecimento isotópico de 5‰ em relação ao valor da camada superficial (Figura 18).

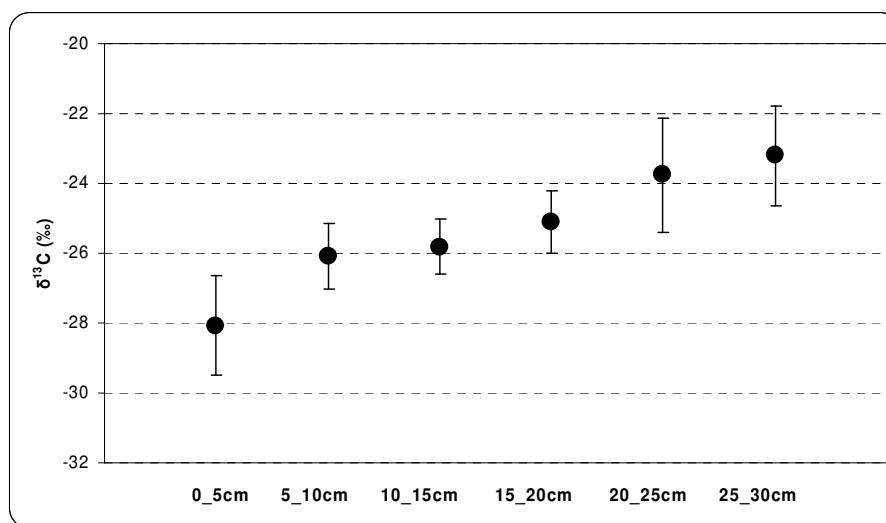


Figura 18 - Variação dos valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ do solo da área de Cerrado em relação à profundidade (n=48).

4.3 Composição isotópica do CO₂ respirado pela serapilheira, madeira morta, folha, ramo, raiz e ensaio de respirometria

Os valores isotópicos do CO₂ respirado pelos componentes serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos variaram entre -31,2 e -24,5‰, não sendo observada diferença estatística entre os mesmos. Porém, esses valores foram estatisticamente mais leves que os valores encontrados no ensaio de respirometria -23,8‰. ($p < 0,05$) Figura 19.

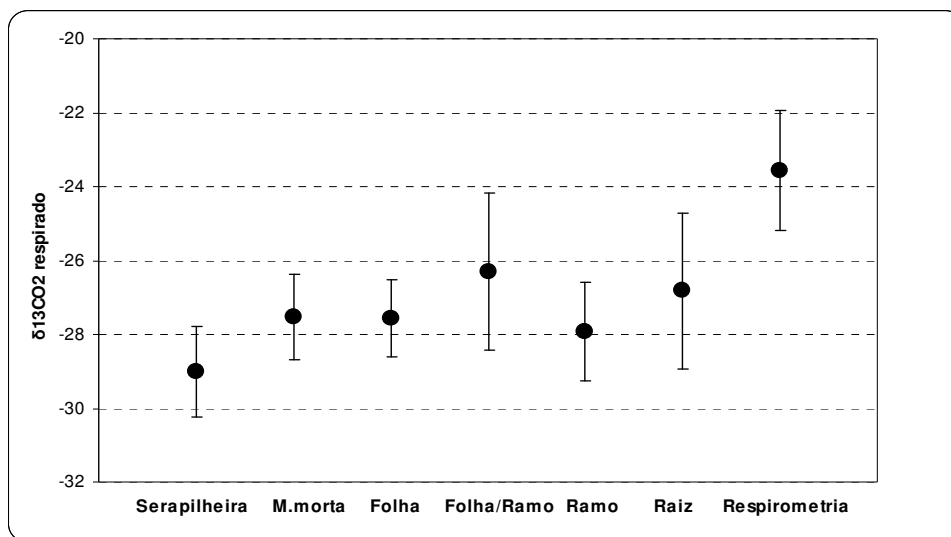


Figura 19 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO₂ respirados pelos componentes serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos n=45 e ensaio de respirometria n=35.

A composição isotópica do CO₂ respirado pelos componentes serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos, variou entre -29,2 e -25,8‰ na estação seca, e -29,9 e -29,3‰ na estação chuvosa. Não foram observadas diferenças estatísticas entre estes componentes, entretanto, observou-se uma tendência durante a estação seca dos valores a serem mais enriquecidos em ¹³C.

Observou-se também que os valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ amostrados pelo ensaio da respirometria definida pelo "Keeling plot", foram estatisticamente diferentes

($p < 0,05$) entre as estações estudadas (seca e chuvosa) e foram significativamente diferentes dos demais componentes serapilheira, madeira morta, folha, ramo e raiz (Figura 20).

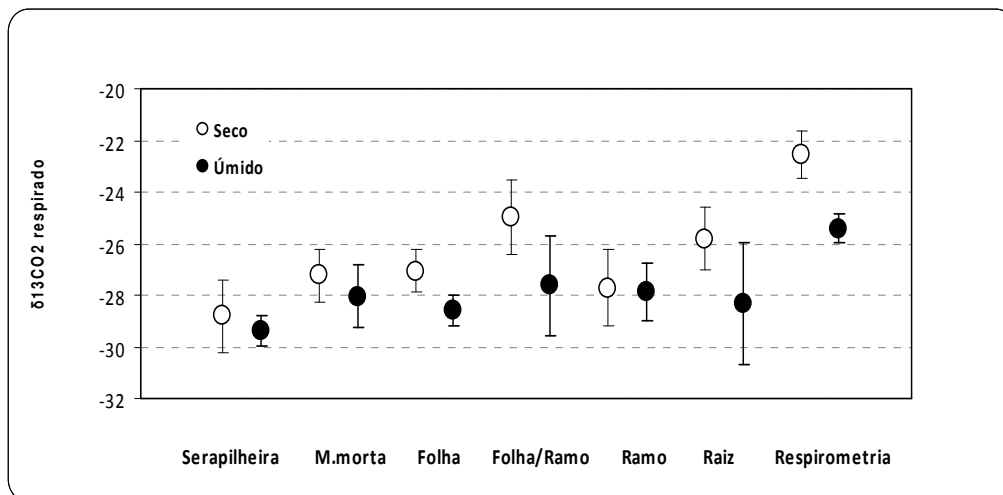


Figura 20 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pela serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos (estação seca e chuvosa) $n=45$ e ensaio de respirometria $n=35$.

Os valores médios mensais, de $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ respirado pelo solo foram isotopicamente mais elevados que o componente vegetal (folha, ramo). Os valores de solo variaram de $-25,1\text{‰}$ a $-28,3\text{‰}$, e o componente vegetal de $-26,5$ a $-30,3\text{‰}$. Houve diferença estatística ($p < 0,002$) entre solo e componente vegetal, exceto nos meses de abril de 2006, março, junho de 2007 (Figura 21).

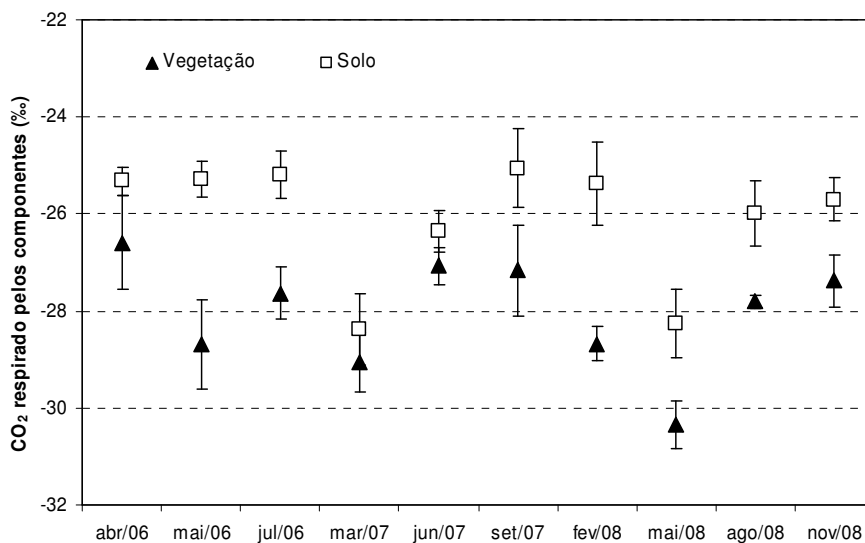


Figura 21 - Valores médios do $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pelos componente solo (raízes + microrganismo) e componente vegetal (folha, ramo).

Analisando-se a média geral dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ - CO_2 respirado pelo componente autotrófico, observou-se que os valores variaram de -29,8‰ a -25,9‰ e os valores isotópicos encontrados pelo componente heterotrófico variaram de -22,7‰ a -26,6‰. Foi observada diferença estatística ($p < 0,001$) entre os mesmos (Figura 22).

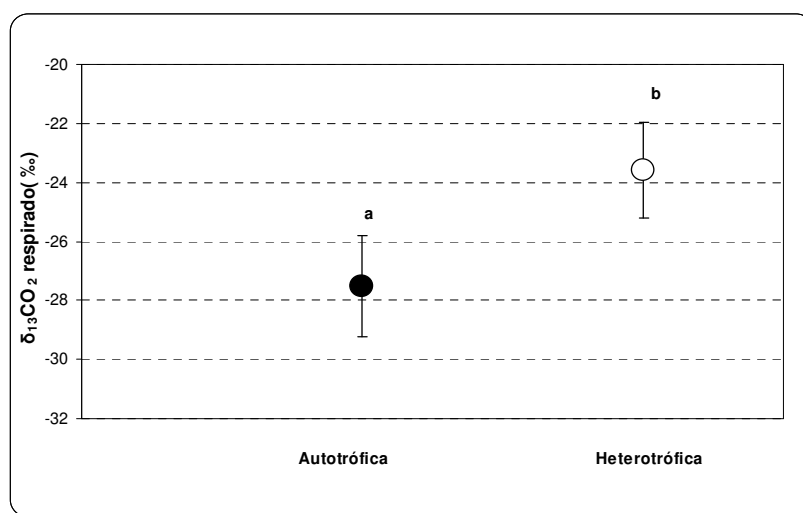


Figura 22 - Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado pelos componentes autotrófico $n=45$ e heterotrófico $n=25$. Letras diferentes indicam diferenças significativas

4.4 Fluxos de CO₂ proveniente da respiração do solo

Os fluxos médios mensais de CO₂ provenientes da respiração do solo variaram de 4,03 a 1,04 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 23). Observou-se uma relação significativa ($p < 0,05$) entre o fluxo de CO₂ do solo com as variáveis ambientais, temperatura do solo e umidade. De modo geral, as relações entre o fluxo de CO₂ com as variáveis ambientais, temperatura e umidade, foram diretamente proporcionais ($r^2 = 0,53$, $r^2 = 0,67$) respectivamente, sendo que esta última apresentou a mais alta correlação.

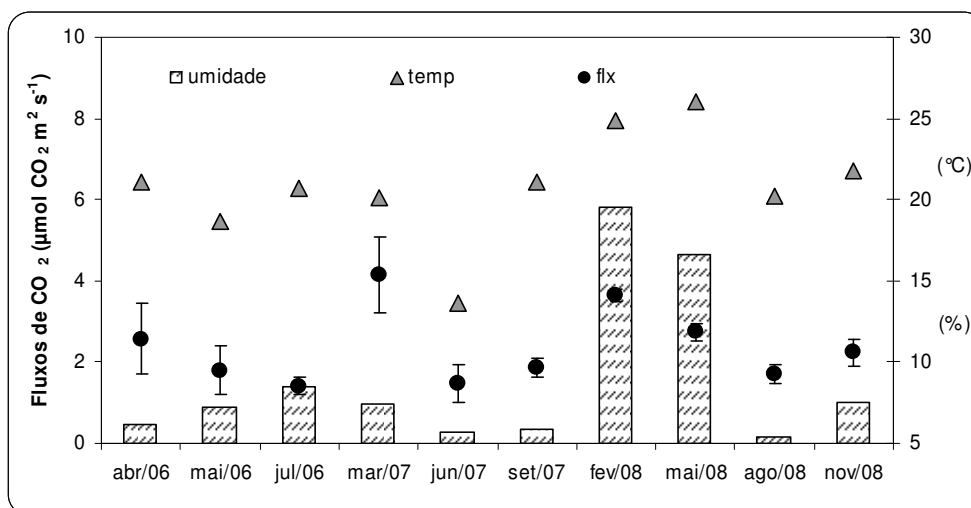


Figura 23 - Média mensal da respiração do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$), umidade e temperatura do solo.

Observou-se diferença significativa ($p < 0,001$) dos fluxos de CO₂ do solo, entre as estação seca e chuvosa. Os valores de fluxos variaram de 3,27 a 0,81 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (estação seca) e de 1,25 a 5,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (estação chuvosa), com médias sazonais de 1,59 e 2,97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Figura 24).

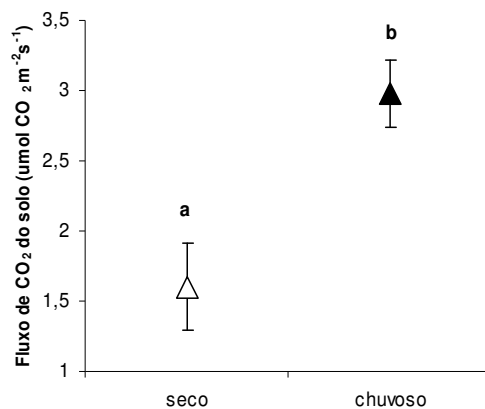


Figura 24 - Sazonalidade dos fluxos de CO₂ proveniente da respiração do solo durante estação seca e chuvosa. Letras diferentes indicam diferenças significativas

4.5 Sazonalidade dos fluxos de CO₂ do solo com e sem a presença da serapilheira

Os fluxos de CO₂ do solo com e sem a presença da serapilheira (Figura 25) variaram de 3,04 a 4,15 μmol CO₂m²s⁻¹ e de 0,68 a 3,91 μmol CO₂m²s⁻¹, respectivamente, não apresentando diferenças estatísticas entre os mesmos. Entretanto, observou-se que os valores de fluxos com a serapilheira, de forma geral, tiveram uma tendência maior de fluxos em relação ao fluxo sem serapilheira, além de uma correlação significativa ($p < 0,05$) dos fluxos CO₂ do solo com média mensal de precipitação ($r^2 = 0,64$).

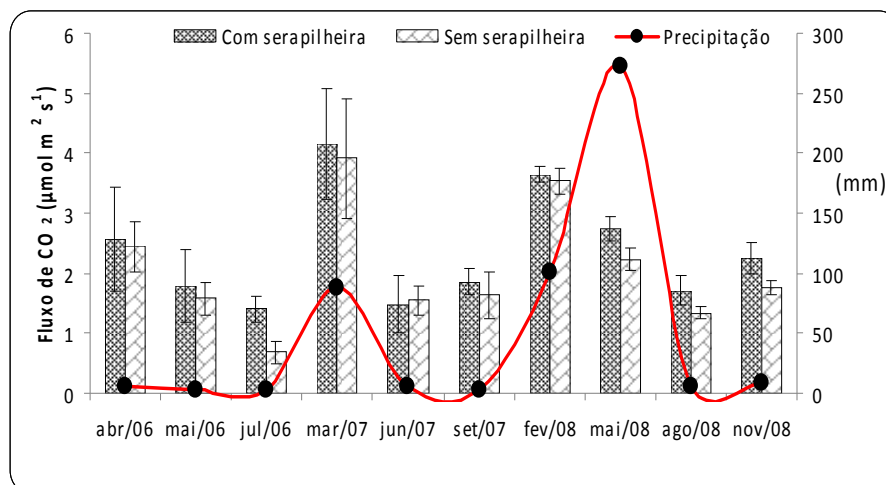


Figura 25 - Fluxos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) da respiração do solo com e sem a presença de serapilheira ($n=25$). Os dados de precipitação foram fornecidos pela torre micrometeorológica do projeto BIOTA.

Foi realizada a separação dos dados em estação seca e chuvosa, com e sem a presença da serapilheira, sendo verificadas variações nos fluxos de CO_2 de $1,71$ a $3,01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (solo com serapilheira) e de $1,44$ a $3,30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (sem serapilheira) para cada período, respectivamente. Os fluxos de CO_2 proveniente da respiração do solo mostraram uma tendência em diminuir nos meses mais secos e em aumentar nos meses com maior precipitação. Não foi observada diferença estatística entre a estação seca e chuvosa com a serapilheira. Porém, essa diferença ($p < 0,05$) foi observada nos fluxos sem serapilheira.

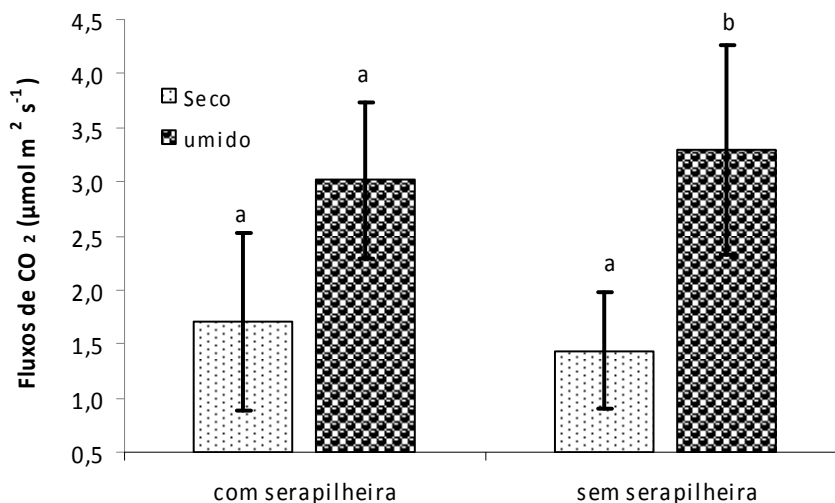


Figura 26 - Respiração do solo com e sem serapilheira durante as estações seca e chuvosa.

4.6 Composição isotópica do dióxido de carbono emitido pelo solo pelo processo de respiração com e sem serapilheira .

Não houve diferenças estatísticas entre os valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirados com serapilheira e sem serapilheira. Porém, de maneira geral, os valores isotópicos $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirados pelo solo com serapilheira foram levemente menores, o que pode estar relacionado a um material mais recente sendo decomposto. Os valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirados pelo solo com serapilheira variaram de -27,2 a -32,9‰, e sem a presença da serapilheira de -26,2 a -32,2‰ (Figura 27).

Os valores isotópicos $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ foram influenciados pela variabilidade sazonal da precipitação, observa-se que nos meses mais secos com a baixa disponibilidade de água no solo, houve a tendência de aumento dos valores isotópicos. Comparando o mês de maio 2008 (maior precipitação) e o mês de julho 2006 (considerado mês seco – baixa precipitação) observou-se variação de 5‰ entre os valores.

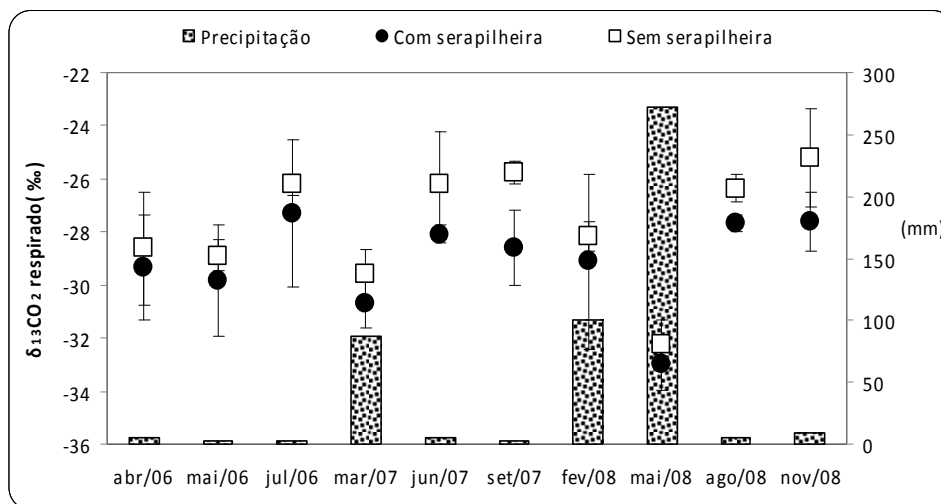


Figura 27 - Valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirado pelo solo com e sem a presença da serapilheira obtidos pelo "Keeling plot" (n=25).

4.7 Respiração do ecossistema

Os valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirado pelo ecossistema, obtidos através do "Keeling plot", variaram de -23,52 a -30,96 ‰ (Figura 28) e foram mais elevados (enriquecidos ou pesados) nos meses mais secos ($p < 0,05$).

Foi observado padrão sazonal nos valores de $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirados pelo ecossistema. Observou-se uma relação significativa ($p < 0,05$) com as variáveis ambientais temperatura, umidade e precipitação ($r^2 = 0,32$; $r^2 = 0,54$; $r^2 = 0,63$, respectivamente), sendo que esta última apresentou a mais alta correlação.

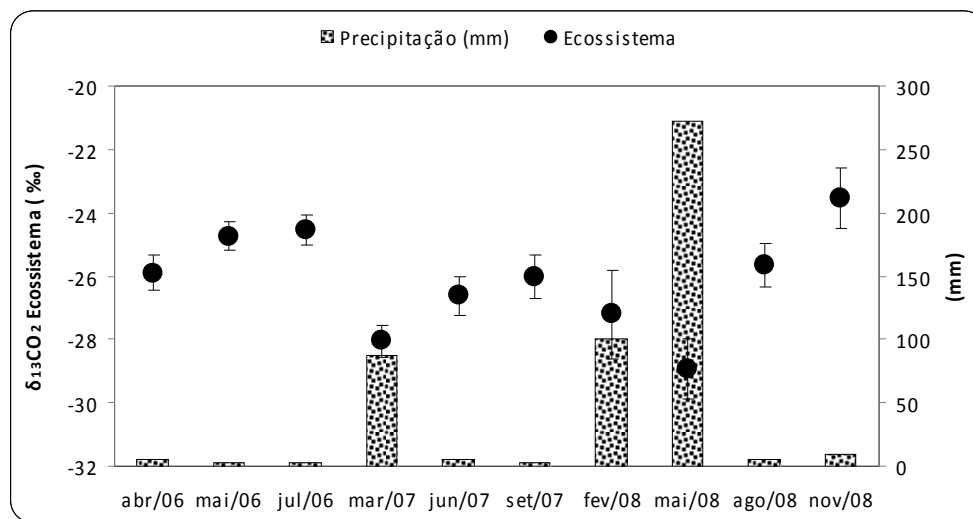


Figura 28 - Valores médios $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ respirado pelo ecossistema, amostrado durante a campanha noturna em relação à precipitação. Método “Keeling plot” foi realizado para calcular o $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ (n=50). Os dados de precipitação foram fornecidos pela torre micrometeorológica do projeto BIOTA.

4.8 Contribuição percentual mensal e total dos componentes: vegetação, raízes e microorganismos para respiração do ecossistema

Avaliando a porcentagem mensal na contribuição da respiração dos componentes vegetação, raízes e microorganismos foram encontrados os seguintes resultados: nos meses mais secos do ano e com menor precipitação em 2006, foi observada a contribuição da respiração por microorganismo de 45 a 65%. Porém, em 2007, no mês de março com a precipitação mais elevada, observou-se maior contribuição da vegetação, seguida pela respiração das raízes. Em fevereiro e maio de 2008, meses analisados com índices de precipitação mais elevados, a contribuição passou a ser dominada pelos microorganismos e pela vegetação (Figura 29).

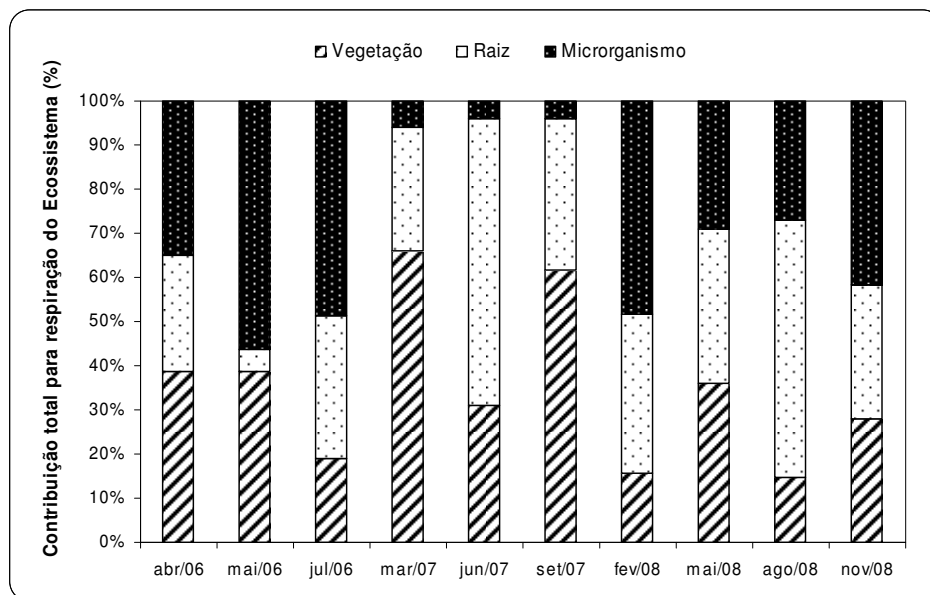


Figura 29 - Contribuição mensal dos componentes vegetais, raiz e microrganismos para respiração total do Ecossistema.

Na avaliação da contribuição de cada componente para a respiração total do ecossistema, foram usadas as médias dos sinais isotópicos da respiração dos componentes abaixo e acima do solo. Considerando-se: **Ecossistema** = -25,26‰, determinado pelo método de “Keeling plot”; **Folha/ramo** = -27,27‰, assumindo que a composição isotópica seja próxima a respiração da vegetação; **Microorganismo** = -23,17‰, derivado do processo de decomposição da matéria orgânica; **Respiração do solo** = -24,60‰, obtida pelo método da câmara dinâmica e método de “Keeling plot”; e **Respiração da raiz** = -26,87‰ (Figura 30 A e B).

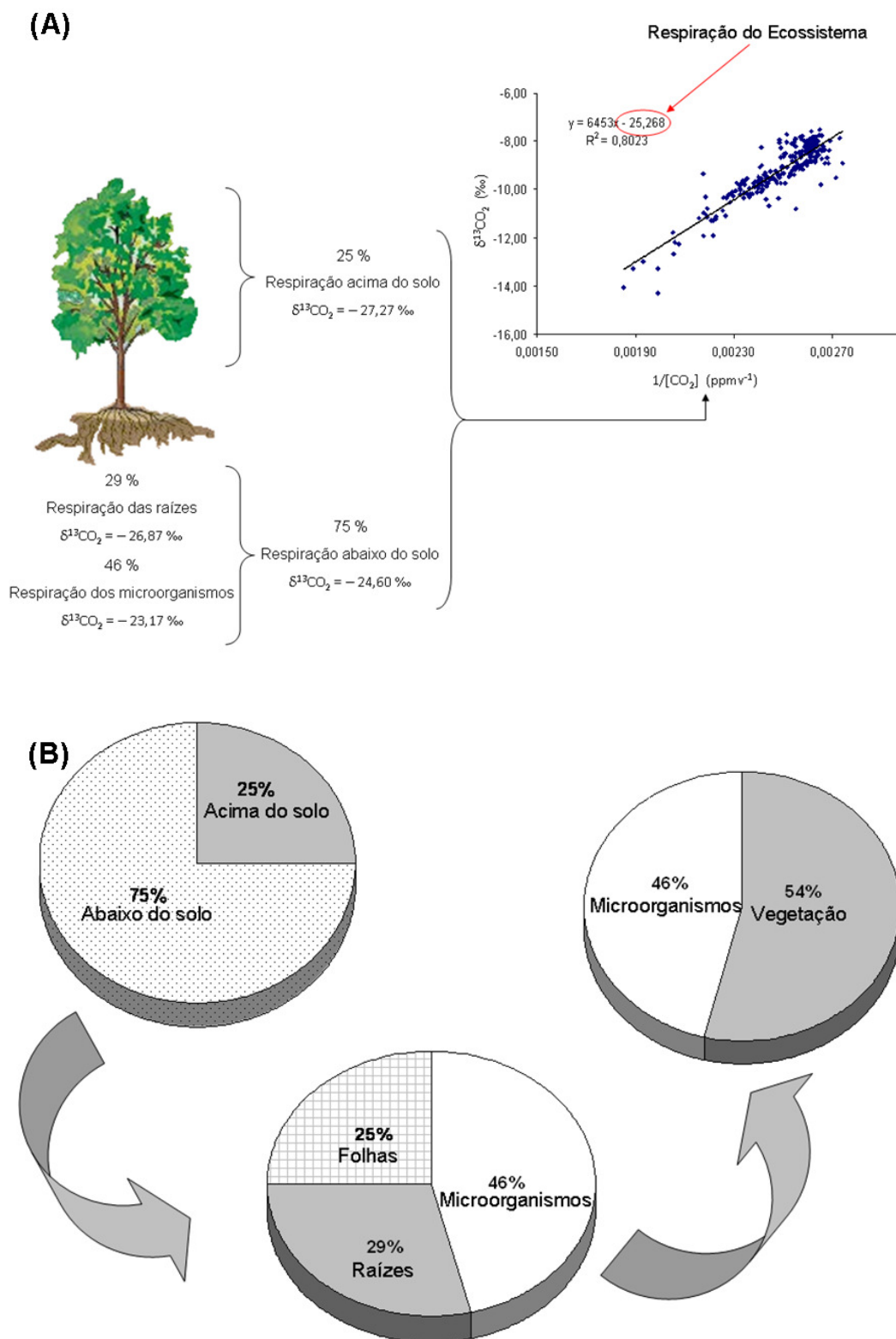


Figura 30 - (A) Particionamento da respiração do ecossistema na área do Cerrado "stricto sensu" Pé de Gigante; (B) Contribuição percentual de CO_2 dos componentes acima e abaixo do solo para respiração do ecossistema.

5 DISCUSSÃO

5.1 Composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da serapilheira, madeira morta, raízes, folhas, ramos e solo

A composição isotópica do material vegetal depende do tipo de metabolismo fotossintético da cobertura vegetal presente. Neste sentido, foi encontrado na área de estudo do Cerrado Pé de Gigante, valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$) que indicaram a predominância de uma vegetação que possui o ciclo fotossintético C3.

Observou-se que os componentes vegetais madeira morta, folhas, raízes, e ramos apresentaram valores distintos na composição isotópica. Foi verificado resultados da madeira morta, ramos e raízes com sinais isotópicos mais pesados enriquecido em ^{13}C que as folhas e a serapilheira. Este fato pode estar relacionado a predominante de compostos como celulose e lignina em sua composição, já que estes compostos apresentam, valores isotópicos mais enriquecidos que os carboidratos que formam as folhas (FOTELLI et al., 2001; HEIM; SCHIMIDT, 2007; MARTINELLI et al., 1998; GLEIXNER et al., 1993; GLEIXNER et al., 1998).

A matéria orgânica do solo é derivada do processo de degradação de diversos componentes, como: folhas, galhos da vegetação nativa, restos animais e microorganismos. Os produtos da decomposição microbiana no solo são fracionados isotopicamente, sendo que os compostos remanescentes, e que irão compor a matéria orgânica do solo, são mais enriquecidos que os produtos que o geraram (ou seja, suas fontes). Neste estudo este fato fica evidenciado pelos resultados isotópicos da matéria orgânica do solo, sendo mais enriquecidos que os valores médios da vegetação do ecossistema

Observou-se uma variabilidade sazonal nos dados isotópicos da vegetação e do solo, sendo que o período seco apresenta valores mais enriquecidos, a dinâmica fisiológica da vegetação em resposta à um déficit hídrico determina, normalmente, redução na relação entre a condutância estomática e fotossíntese, o que resulta em valores isotópicos mais enriquecidos para o carbono fixado pelas plantas. O solo pode também refletir esta dinâmica, seja pela importância dos exudados de raízes para a composição da matéria orgânica do solo, ou pela resposta dos processos de decomposição à redução da disponibilidade hídrica (MARTINELLI et al., 1991).

5.2 Composição isotópica do solo em relação à profundidade

O carbono proveniente da vegetação entra no solo por meio do(a): queda de folheto, troncos e galho; “*turnover*” das raízes e micorrizas; exudação de compostos orgânicos pelas raízes finas. A partir da decomposição desses materiais ocorre a formação de complexos orgânicos estáveis e húmus, sendo a serapilheira considerada a principal entrada de carbono (MURTY et al., 2002).

No presente estudo, observou-se que nas primeiras camadas do solo uma maior quantidade de material (carbono) orgânico com valores isotopicamente mais leves em relação às camadas mais profundas, reflete o aporte de material recente da vegetação depositado acima do solo. A decomposição biológica consome rapidamente os compostos mais lábeis (normalmente com valores isotópicos menos enriquecidos, por refletir uma fixação de um carbono mais recente) fazendo com que compostos estruturais como lignina e celulose predominem na composição da matéria orgânica do solo.

Este processo ocorre em diferentes intensidades nos diversos níveis de profundidade do solo, sendo que, aliado a processos de translocação, observa-se um valor isotópico mais enriquecido em profundidade. Este padrão foi também observado por outros autores (CAMARGO et al., 1999; ADUAN, 2003; NARDOTO, 2005; EKBLAD et al., 2007; HOBBIE et al., 2009).

Os dados isotópicos, referentes às profundidades do solo comprovaram que o carbono da matéria orgânica do solo desta área estudada (Cerrado “*stricto sensu*”), é derivado predominantemente de uma vegetação que não sofreu alteração ao longo dos anos por outras espécies vegetais, uma vez que conservam o sinal isotópico de plantas C3 ao longo do perfil do solo Nadelholffer e Fray, (1988).

5.3 Composição isotópica do CO₂ respirado pela serapilheira, madeira morta, folha, ramo, raiz e ensaio de respirometria

A respiração reflete o carbono fixado pelas plantas no processo fotossintético, ou seja, o carbono constituinte da molécula de CO₂ indica sob quais condições ambientais a fotossíntese ocorreu (FARQUHAR et al., 1989).

De modo geral, observou-se que os valores isotópicos do CO₂ respirado pela serapilheira, madeira morta, ramo, raiz e matéria orgânica do solo foram levemente enriquecidos durante o período seco, entretanto, este fato é mais evidente na respiração das folhas. Essa diferença pode representar a resposta da vegetação do Cerrado a períodos de menor disponibilidade hídrica, levando as plantas a reduzirem a condutância estomática parcialmente, como forma de evitar a perda de água, tendo como consequência a redução na taxa de assimilação de CO₂, a diminuição da relação ci/ca, e consequentemente um menor fracionamento isotópico em relação ao CO₂ atmosférico (EHLERINGER et al., 1986; FARQUHAR et al., 1989;

DOMINGUES, 2005). Este padrão, em área de Cerrado, também foi observado por outros autores (BUCCI et al., 2005; PEREZ; MORAES 1991a,b; RIBEIRO, 2007), e corroboram os dados deste estudo (Figura 20).

Os valores isotópicos do CO₂ respirado pela serapilheira foram mais leves durante as estações seca e chuvosa que os demais componentes vegetais. Tal fato pode estar relacionado a um material mais recente sendo decomposto (isotopicamente mais leve) e/ou ao tipo de composto orgânico (carboidrato) que é formado pela planta.

Os valores isotópicos do carbono respirados pelos diversos componentes neste estudo foram mais enriquecidos quando comparados com os dados observados por Ishida, (2007) em área de floresta de Terra-Firme, na Amazônia. Isso sugere uma variação regional nos valores isotópicos, que estaria associada a padrões diferenciados na distribuição sazonal de variáveis ambientais (como precipitação), reflète a distinta dinâmica ecofisiológica da vegetação dominante nestes dois estudos.

Observou-se diferença estatística entre os valores isotópicos verificados na respirometria e os demais componentes vegetais, durante as estações seca e chuvosa. Os valores isotópicos obtidos na respirometria foram mais enriquecidos durante o período seco. Este enriquecimento se deve ao fato de que, durante esse período, a disponibilidade hídrica no solo é reduzida, assim como, as fontes de carbono que servem de energia para os microorganismos do solo, afetando desta forma, as atividades dos mesmos (HENN; CHAPELA, 2000; EKBLAD et al., 2007) (Figura 19).

No tocante aos valores do CO₂ respirados pelo componente solo (raízes + microorganismos) e componente vegetal (folha + ramo), observou-se que o solo foi mais enriquecido em ¹³C. Essa diferença pode estar relacionada ao fato que a matéria orgânica do solo, é formada basicamente por restos de animais e vegetais em vários estágios de decomposição, certa parte dessa fração decomposta da matéria orgânica é estabilizada e transformada em um material orgânico antigo rico em ¹³C. Por outro lado, nos componentes vegetais os valores isotópicos irão refletir o carboidrato recentemente fixado pelo processo fotossintético. No caso do presente estudo, a vegetação predominante é composta por plantas de ciclo fotossintético C3, isotopicamente mais leve (Figura 21).

Em nosso estudo os valores isotópicos do CO₂ respirado pelo componente autotrófico (folhas, raízes e ramo) foram isotopicamente menores (menos enriquecidos em ¹³C) que os valores heterotróficos (microorganismos, serapilheira, madeira morta). A análise dos valores isotópicos do CO₂ respirado pelos componentes autotróficos e heterotróficos permitiu a verificação da diferença estatística entre os componentes respirados (Figura 22).

5.4 Fluxos de CO₂ proveniente da respiração do solo

Os fluxos de CO₂ são extremamente variáveis no espaço e no tempo, devido à heterogeneidade do sistema solo e à dinâmica dos fatores que os controlam (DAVIDSON et al. 2002; GU et al 2008). Na superfície do solo, o CO₂ é produzido através de processo mediado por microrganismos, durante a decomposição aeróbia da matéria orgânica e a respiração do sistema radicular das plantas (LE DANTEC et al.,1999). O fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo é um dos principais componentes do ciclo global do carbono nos trópicos (RAICH;

SCHLESINGER,1992; YIM et al., 2002), contribuindo com cerca de 50% do carbono que compõe a respiração total do ecossistema (WAGAI et al.,1998; ROBERTS, 2000). Este processo varia de acordo com a vegetação e tipo de solo (WAGAI et al. 1998; DAVIDSON et al. 2002).

No Cerrado, a sazonalidade no fluxo de CO₂ parece estar relacionada principalmente aos padrões de precipitação e potencial de água no solo e no ar (TRUMBORE et al.,1995; DAVIDSON et al., 2000; ROCHA., et al., 2002). No entanto, a água no solo pode tanto favorecer como inibir a produção de CO₂ no solo. Eventualmente, há um conteúdo de água que maximiza a respiração microbiana do solo, no qual ocorrerá limitação à difusão de O₂ por outro lado, na condição seca, há restrição a fonte de carbono para a microbiota do solo (LINN; DORAN, 1984; VARGAS, 2002).

Neste estudo, o processo de respiração do solo seguiu padrão de sazonalidade e foi influenciado pelos fatores ambientais como temperatura e umidade e variaram de acordo com as estações, sendo que a umidade apresentou melhor correlação ($r^2=0,67$) para emissão de CO₂ do solo para atmosfera. Observou-se que a água no solo proporcionou melhores condições para produção de CO₂ no solo durante os meses com maior precipitação, isso sugere que as taxas de decomposição da matéria orgânica e as atividades dos microrganismos, nesse período, foram mais vigorosas em decorrência do aumento da biomassa microbiana. Este mesmo padrão foi evidenciado por Carvalho (2005), em diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho amarelo argiloso no Distrito Federal.

Por outro lado, a influência da temperatura na estação seca sobre os fluxos foi menor, devido à redução na solubilidade do substrato de carbono orgânico no

solo, na qual constitui principal fonte de energia para os microrganismos (LINN; DORAN, 1984; VARGAS, 2002) (Figura 23).

Em termos de emissão de CO₂ do solo foi encontrado uma média anual para o CO₂ proveniente da respiração do solo, de 15,25 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Estes resultados são compatíveis com os reportados por Aduan (2003) em estudo também realizado em cerrado “*stricto sensu*”, porém situado no Distrito Federal. Este autor encontrou valores que se situaram em torno de 13,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Quanto ao fluxo de CO₂, foi observado valor de 4,6 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ semelhante ao encontrado por Rocha et al (2002) e Tanus (2004), que segundo os autores, estes fluxos estão relacionados principalmente aos padrões de precipitação e potencial de água no solo, corroborando os resultados encontrados neste estudo.

5.5 Sazonalidade dos fluxos de CO₂ do solo com e sem a presença da serapilheira

Os maiores fluxos de CO₂ foram obtidos quando a disponibilidade de água no sistema foi maior, tanto para a condição de cobertura do solo com serapilheira como com a retirada da serapilheira, (Figura 25). A condição hídrica no solo, associada com a temperatura, influenciaram as atividades metabólicas dos microrganismos, aumentando o fluxo de CO₂ a partir do solo. Tal aspecto foi mais visível nos fluxos de CO₂ com serapilheira, e sugere a predominância de dois processos atuando conjuntamente sobre este componente: respiração do sistema radicular e decomposição.

Os fluxos de CO₂ sem serapilheira, tanto na estação seca como chuvosa, foram menos acentuados, sugerindo que a maior contribuição sobre os fluxos de CO₂ passou a ser dominada pelo processo da respiração do sistema radicular

Segundo Moraes e Prado (1998), nessa estação seca ocorre a diminuição nas taxas metabólicas devido ao déficit hídrico, na temperatura, e na assimilação de C resultando na redução da produção CO₂ no solo.

Avaliando a composição isotópica dos componentes com serapilheira e sem serapilheira, observou-se um padrão de sazonalidade semelhante ao dos fluxos respirados por estes componentes, havendo enriquecimento no ¹³C-CO₂ respirado durante a estação seca para ambos os componentes. De maneira geral, os valores de CO₂ respirados pelo solo com serapilheira foram levemente menos enriquecido em moléculas de ¹³C que o componente sem serapilheira, porém não houve diferença estatística significativa. Esta pequena diferença pode estar relacionada ao material orgânico mais recente presente na serapilheira (Figura 27).

5.6 Respiração do ecossistema

A respiração do ecossistema integra atividade respiratória de diversos constituintes como folhas, solo, raízes, microrganismos decomposição da matéria orgânica, serapilheira. Neste sentido estes atuam como fontes, que tanto acima quanto abaixo do solo, contribuem para a respiração total do sistema. Cada uma destas fontes são potencialmente capazes de responder às mudanças impostas ao meio. Neste sentido, essas mudanças afetarão também a composição isotópica do ecossistema como um todo.

A integração dos valores isotópicos do CO₂ respirados pelo ecossistema Cerrado, obtidos através da técnica de “Keeling plot”, foi de -25,26‰. Este valor é mais enriquecido que os valores relatados em outros estudos realizados na região da Amazônia (ISHIDA, 2007; OMETTO et al., 2002), o que corroboram com os dados obtidos para cada componente do sistema, como descrito anteriormente.

Alguns estudos utilizando técnicas de análises de medidas de fluxo turbulento ou “*eddy correlation*” (medidas de alta frequência da velocidade vertical do ar e da concentração do CO₂ atmosférico na interface vegetação-atmosfera) têm mostrado que o Cerrado se comporta como um assimilador de carbono durante a estação chuvosa e fonte na estação seca (MIRANDA et al., 1997; ROCHA et al., 2002; TANUS, 2004; RIBEIRO,2007).Tais aspectos, são evidenciados através da técnica isotópica utilizada neste trabalho.

Os valores isotópicos respirados pelo ecossistema foram isotopicamente menos enriquecidos na estação chuvosa e mais enriquecidos durante a estação seca. Na estação chuvosa, este resultado está relacionado ao período em que há maior produção de biomassa verde e maior produtividade primária (ROCHA et al., 2002; TANUS, 2004; RIBEIRO,2007).

Neste sentido, durante esta estação ocorre maior assimilação de carbono pela vegetação através da fotossíntese, ocorrendo maior discriminação isotópica contra o ¹³C. Os estômatos ficam abertos possibilitando maior troca gasosa, a relação ci/ca aumenta e como conseqüência os valores isotópicos ficarão mais negativos, ou seja, mais leves isotopicamente (EHLERINGER et al.,1986).

Por outro lado, na estação seca, quando o ecossistema se torna uma fonte de carbono e os valores isotópicos foram mais elevados, Tanus (2004) observou redução na biomassa verde através da abscisão foliar e na atividade metabólica das plantas (fotossíntese e evapotranspiração) em virtude do déficit hídrico, provocando o fechamento estomático, reduzindo a taxa de assimilação de CO₂ e a relação ci/ca, e como conseqüência os valores de δ¹³C das plantas ficaram mais positivos, ou

seja, mais pesados (FARQUHAR et al., 1989), estes efeitos foram refletidos na composição isotópica do CO₂ respirado pelo ecossistema (Figura 28).

Portanto, os fatores ambientais (disponibilidade hídrica no solo e precipitação) regularam as atividades fisiológicas e biológicas no sistema e foram determinantes para explicar a variabilidade nos valores isotópicos, bem como, a variabilidade sazonal na respiração do ecossistema Cerrado.

5.7 Contribuição percentual e total de CO₂ dos componentes acima e abaixo do solo para respiração do ecossistema

As medidas da respiração do ecossistema fornecem uma estimativa das transferências de carbono do sistema terrestre à atmosfera. Estas medidas integram uma larga escala de fontes e atividades respiratórias acima do solo (as folhas e ramos) e abaixo do solo (raízes, decomposição da matéria orgânica e microrganismos). Cada uma destas fontes pode potencialmente responder às condições ambientais de maneiras e em escalas de tempos diferentes.

Considerando-se os meses secos e chuvosos, os resultados da contribuição percentual dos compartimentos (vegetação, raiz, microrganismos) para respiração total do ecossistema, não foi observado relação com precipitação, umidade e temperatura. Porém, quando os dados são submetidos a análise diária, observou-se relação com a precipitação e umidade. Tal fato ocorre possivelmente em função de que nos meses secos de 2006, a coleta se deu um dia após um evento de chuva, ocorrendo mudanças na umidade e na temperatura média do solo. Desta forma, os dados refletem uma resposta direta à maior disponibilidade de água no solo e na diminuição de temperatura, o que fez com que os valores percentuais respirados pelos microrganismos aumentassem (Figura 29).

No mês de março/07, época considerada chuvosa, a coleta foi realizada três dias antes da chuva notou-se que o solo estava aparentemente seco (menos de 10% umidade gravimétrica) sendo observada uma redução na contribuição dos valores de CO₂ respirado pelos microorganismos. Este fato pode, em parte, ser explicado pela quantidade de água no solo que, provavelmente, não foi o suficiente para ativar as atividades dos mesmos, o que justifica a semelhança entre esta campanha com as realizadas em junho/07 e setembro/07, meses da estação seca (Figura 29).

Por outro lado, a quantidade mínima de água no solo favoreceu o aumento na contribuição por parte das raízes e da vegetação. Tal fato pode estar relacionado à redução na condutância estomática devido a diminuição do teor interno de água, e ao aumento da respiração (CO₂) (MIRANDA et al., 1997; BUCCI, 2001; BEZERRA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005). Este aspecto foi evidenciado por meio dos valores isotópicos do CO₂ respirado tanto por parte das raízes como da vegetação. Tais valores foram levemente enriquecidos.

No ano de 2008, em todos os meses as amostragens foram realizadas em um período de três dias após a chuva, fazendo como que o conteúdo de água no solo fosse maior. Desta forma, não houve comprometimento das atividades metabólicas dos microorganismos e das raízes, sendo observada uma maior porcentagem na respiração dos microorganismos, seguida pela respiração das raízes.

Na avaliação total da contribuição de cada compartimento para a respiração do ecossistema, considerando-se respiração abaixo e acima do solo, a contribuição maior para respiração total do ecossistema Cerrado observada neste estudo foi

determinada pelo compartimento solo cerca 75%, e a maior contribuição dentro deste compartimento foi realizada pela respiração dos microrganismos com 46% seguida pelas raízes 29% (Figura 30 A).

Quando analisado somente a contribuição das raízes para a respiração total do solo, esse valor difere do encontrado por Andrews et al. (1999) que observaram 55% da contribuição CO₂ das raízes para solo. Outras estimativas demonstram uma grande variação na respiração das raízes de 5% (PHILIPSON et al., 1975) a 90% (ROUHIER et al., 1996; THIERRON; LAUDELOUT, 1996). Estas enormes variações nestas estimativas podem ser o resultado de diferentes técnicas de medidas usadas para estimar a respiração deste compartimento.

Os resultados apresentados no presente estudo mostram que a respiração abaixo do solo contribuiu com 75% para a respiração total deste ecossistema, e acima do solo contribuiu com 25%. Ao compararmos os valores encontrados neste estudo, observou-se que são semelhantes aos encontrados por Tu e Dawson, (2005) em uma floresta de clima temperado, próxima a Califórnia ocidental (Redwood Forest).

Com a intenção de comparar a contribuição de microrganismos e da vegetação na respiração total do ecossistema, integrou-se os valores isotópicos respirado pelos componentes vegetais (raiz e folhas), obtendo-se o resultado de 54% da respiração do ecossistema foi realizada pela vegetação, indicando uma maior contribuição autotrófica (Figura 30B).

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, comprovou-se que a variabilidade dos valores isotópicos do CO₂ respirado pelos componentes de origem autotrófica, heterotrófica e do ecossistema estão associados a fatores fisiológicos e ambientais microclimáticos (temperatura e umidade) apresentando valores isotópicos mais enriquecidos durante a estação seca, com menor disponibilidade hídrica no solo e que corroboram com as nossas hipóteses.

Dentre os compartimentos avaliados neste estudo, o solo foi considerado o compartimento com maior contribuição para a respiração total do ecossistema.

Os resultados também mostraram que o controle das emissões de CO₂ do solo para atmosfera foi influenciado pelos fatores ambientais temperatura e umidade e afetaram diretamente a atividade microbológica do solo.

A respiração do ecossistema Cerrado apresentou valor isotópico de -25,26 ‰ o que significa que as moléculas de CO₂ respirado por este ambiente é rica em carbono ¹³C se comparado a outro ecossistema como a Amazônia.

O funcionamento do ecossistema Cerrado, mais especificamente na Gleba Pé de Gigante, em relação à dinâmica do carbono, foi evidenciado pelos resultados obtidos neste estudo através do uso de técnica isotópica, corroborando com os estudos até então realizados.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, J. A.; HARRISON, K. G.; MATAMALA, R.; SCHLESINGER, W. H. Separation of root respiration from total soil respiration using carbon-13 labeling during Free-Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, p. 1429-1435, 1999.

ADUAN, R. E. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central**. 2003. 149 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. **De grão em grão o Cerrado perde espaço**. Brasília: WWF, 1995. (Cerrado – Impactos do Processo de Ocupação).

BERNER, R. A.; LASAGA, A. C. Modelling the geochemical carbon cycle. **Scientific American**, Washington, v. 260, n. 3, p. 74-81, 1989.

BALESDENT, J.; GIRARDIN, C.; MARIOTTI, A. Site-related ^{13}C of tree leaves and soil organic matter in a temperate forest. **Ecology**, Washington, v. 74, p. 1713–1721, 1993.

BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of Cerrado plant species at the Pé-de-Gigante reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brasil): a comparison between the herbaceous and woody flora. **Revista brasileira de Biologia**, São Paulo, v. 60, p. 129-145, 2001.

BARNARD, R. L.; SALMON, Y.; KODAMA, N.; SOGEL, K.; HOLST, J.; RENNEBERG, H.; GESSLER, A.; BUCHMANN, N. Evaporative enrichment and time lags between delta O^{-18} of leaf water and organic pools in a pine stand. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 539-550, 2007.

BEZERRA, L.; SILVA, E. M.; KLINK, C. A. F. Disponibilidade de água e evapotranspiração em ecossistema do Cerrado brasileiro. In: ATAROFF, M.; SILVA, J.F. (Ed.). **Dinâmica em sistema neotropicales**: investigaciones em dinâmica hídrica dela red Rica. Bogotá: Instituto de Ciências Ambientales y Ecológicas, Universidade de Los Andes, 2005. p. 43-48.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, p. 743-749, 1998.

BITENCOURT, M. D.; MENDONÇA, R. R. Diagnóstico cartográfico dos remanescentes de cerrado em São Paulo. In: BITENCOURT, M. D.; MENDONÇA, R. R. (Org.). **Viabilidade de conservação dos remanescentes de cerrado do Estado de São Paulo**. São Paulo: Editora Annablume, 2004. cap. 1, p. 17-28.

BITTENCOURT, M. D.; PIVELLO, V. R. SIG e sensoriamento remoto orbital auxiliando o zoneamento ecológico. **Investigaciones Geográficas Boletín**, Mexico v. 35, p. 35-43, 1998.

BORLAUG, N. E. Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead. In: BAILEY, R. (Ed.). **Global warming and other eco-myths**. Roseville: Competitive Enterprise Institute, 2002. p. 29-60.

BOUSQUET, P.; PHILIPPE, P.; PHILIPPE, C.; CORINNE, L. Q.; PIERRE, F.; PIETER, P. T. Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980. **Science**, Washington, v. 290, n. 5495, p. 1342-1346, 2000.

BOWLING, D. R.; COOK, C. S.; EHLERINGER, J. R. Technique to measure CO₂ mixing ratio in small flasks with a bellows/IRGA system. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 109, p. 61-65, 2001.

BOWLING D. R.; TANS P. R.; MONSON R. K. Partitioning net ecosystem carbon exchange with isotopic fluxes of CO₂. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, p. 127-145, 2001.

BOWLING, D. R.; MCDOWELL, N. G.; BOND, B. J.; LAW, B. E.; EHLERINGER, J. R. ¹³C content of ecosystem respiration is linked to precipitation and vapor pressure deficit. **Oecologia**, Berlin, v. 131, p. 113-124, 2002.

BOWLING, D. R.; PATAKI, D. E.; EHLERINGER, J. R. Critical evaluation of micrometeorological methods for measuring ecosystem-atmosphere isotopic exchange of CO₂. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 116, p. 159-179, 2003.

BUCHMANN, N. J. M.; EHLERINGER, J. T. Influence of stand structure on carbon-13 of vegetation, solids, and canopy air within deciduous and evergreen forests in Utah, United States. **Oecologia**, Berlin, v. 110, p. 109-119, 1997.

BUCHMANN, N.; GUEHL, J. M.; BARIGAH, T. S.; EHLERINGER, J. R. Interseasonal comparison of CO₂ concentrations, isotopic composition and carbon dynamics in an Amazonian rain forest (Fench Guiana). **Oecologia**, Berlin, v. 110, p. 120-131, 1997.

BUSTAMANTE, M. M.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A.; DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. ¹⁵N Natural abundance in woody plants and soils of the savanna in Central Brazil (Cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. 4, p. 200-213, 2004.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MEDINA, E.; ASNER, G. P.; NARDOTO, G. B.; GARCIAMONTIEL, D. C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 79, n. 1-2, p. 209-237, 2006.

BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; FRANCO, A. C.; CAMPANELLO, P.; SCHOLZ, F. G. Mechanisms contributing to seasonal homeostasis of minimum leaf water potential and predawn disequilibrium between soil and plant water potential in Neotropical savanna trees. **Trees**, Heidelberg, v. 19, p. 296-304, 2005.

BUCCI, S. J. **Arquitetura hidraulica y relaciones hídricas de árboles de sabanas neotropicales**: efectos de la disponibilidad de agua y nutrientes. 2001. Dissertation - Universidad Buenos Aires, Buenos Aires, 2001.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J. G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990. cap. 6, p. 82-105.

CRUTZEN, P. J.; RAMANATHAN, V.; KIEHL, J. T.; ROSENFELD, D. Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle. **Science**, Washington, v. 294, n. 5549, p. 2119-2124, 2001.

CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A.; DAVIDSON, E. A.; NEPSTAD, D. C.; VICTORIA, R. L. Soil carbon dynamics in regrowing Forest of eastern Amazonia. **Global Change Biology**, Oxford, v. 5, p. 693-702, 1999.

CAVALCANTI, R. B.; JOLY, C. A. Biodiversity and conservation priorities in the Cerrado region. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Central Brazil – Ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 351-367.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; HERPIN, U. H. W.; CERRI, C. C. Conversion of Cerrado into agricultural land in the south-western Amazon: carbon stocks and soil fertility. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 233-241, 2009.

CAVASSAN, O. **Florística e fitossociologia da vegetação lenhosa em um hectare de cerrado no Parque Ecológico Municipal de Bauru (SP)**. 1990. 206 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 1990.

CEPAGRI. **Metereologia**. Campinas: UNICAMP, 2002. Disponível em: www.cpa.unicamp.br. Acesso em: 01 maio 2002.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VITÓRIA, R. L.; PLENECASSAGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris. Serie II**, Paris, v. 9, p. 423-428, 1985.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELLILO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 83-99, 2007.

CIAS, P.; TANS, P. P.; DENNING, A. S.; FRANCEY, R. J.; TROILER, M.; MEIJER, A. J.; WHITE, W. C.; BERRY, J. A.; RANDALL, D. A.; COLLATZ G. J.; SELLERS, P. J.; MONFRAY, P.; HEIMAN, M. A three-dimensional synthesis study of ^{18}O in atmospheric CO_2 Surface fluxes. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 102: 5873-5883. 1997.

CONWAY, T. J.; TANS, P. P.; WATERMAN, L. S.; THONING, K. W.; KITZIS, D. R.; MASARIE, K. A.; ZHANG, N. Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network, **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 99, p. 22831-22856, 1994.

COUTINHO, L. M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 17-23, 1978.

COOPER, M.; RUGGIERO, P. G. C.; SPAROVEK, G.; PIRES NETO, A. G. Solos da Gleba Cerrado Pé de Gigante. In: PIVELLO, V. R.; VARANDA, E. M. (Org.). **O Cerrado do Pé de Gigante, Parque Estadual de Vassununga: ecologia e conservação**. São Paulo: SMA, 2005. pt. 1, cap. 5.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S. E.; AMUNDSON, R. Biogeochemistry - Soil warming and organic carbon content. London, **Nature**, London, v. 408, n. 6814, p. 789-790, 2000.

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

DAWSON, T. E.; BROOKS, P. D. Fundamentals of stable isotope chemistry and measurement. In: UNKOVICH, M.; PATE, J.; MCNEILL, A.; GIBBS, D. J. (Ed.). **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2001. cap. 1, p. 1-18.

DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS (Ed.). **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília, DF: FUNATURA, 1992.

DOMINGUES, T. F. **Photosynthetic gas exchange in eastern Amazonian primary forest and pasture ecosystems**. 2005. 124 p. Thesis (Doctoral) – Utah University, Salt Lake City, 2005.

DURIGAN, G.; NISHIKAWA, D. L. L.; ROCHA, E.; SILVEIRA, E. R.; PULITANO, F. M.; REGALADO, L. B.; CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIER, V. E. L. Caracterização de dois estratos da vegetação em uma área de Cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasilia**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 251-262, 2002.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C. Padrões fitogeográficos do cerrado paulista sob uma perspectiva regional. **Hoehnea**, São Paulo, v. 30, p. 39-51, 2003.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SIQUEIRA, M. F. A vegetação dos remanescentes de Cerrado do estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M. D.; MENDONÇA, R. R. (Org.). **Viabilidade de conservação dos remanescentes de Cerrado do Estado de São Paulo**. São Paulo: Editora Annablume, 2004. cap. 2, p. 29-56.

- EHLERINGER, J. R.; COOK, C. S. Carbon and oxygen isotope ratios of ecosystem respiration along an Oregon conifer transect: preliminary observations based upon small-flask sampling. **Tree Physiology**, Victoria, v. 18, p. 513-519, 1998.
- EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D. **Stable isotopes and plant carbon–water relations**. New York: Academic Press, 1993. 555 p.
- EHLERINGER, J. R.; BUCHMANN, N.; FLANAGAN, L. B. Carbon isotope ratios in belowground carbon cycle processes. **Ecological Applications**, Washington, v. 10, p. 412-422, 2000.
- EHLERINGER, J. R.; FIELD, C. B.; ZHI-FANG, L.; KUO, C. H. Leaf carbon isotope and mineral composition in subtropical plants along an irradiance dine. **Oecologia**, Berlin, v. 70, p. 520-526, 1986.
- EITEN, G. Formas fisionômicas do cerrado. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 139-148, 1979.
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1990. cap. 1, p. 9-65.
- EKBLAD, A.; BOSTROM, B.; COMSTEDT, D. Isotope fractionation and ¹³C enrichment in soil profiles during the decomposition of soil organic matter. **Oecologia**, Berlin, v. 153, p. 89-98, 2007.
- FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. A model for soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 155-165, 1999.
- FARQUHAR, G. D. On the nature of carbon isotope discrimination in C₄ species. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.10, p. 205–226, 1983.
- FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon isotope discrimination and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 503-537, 1989.
- FARQUHAR, G.; O'LEARY, M.; BERRY, J. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 9, p. 121-137, 1982.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil Amazon forest and the global carbon problem. **Interciência**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 58-64, 1986.
- FERRI, M. G. Ecologia dos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1977. p. 15-33.
- FLANAGAN L. B.; EHLERINGER J. R. Ecosystem-atmosphere CO₂ exchange: Interpreting signals of change using stable isotope ratios **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge, v. 13, p. 10-14, 1998.

FLANAGAN, L. B.; BROOKS, J. R.; VARNEY, G. T.; EHLERINGER, J. R. Discrimination against $C^{18}O^{16}O$ during photosynthesis and the oxygen isotopic ratio of respired CO_2 in boreal forest ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 11, p. 83-98, 1997.

FOTELLI, M. N.; GEBLER, A.; PEUKE, A. D.; RENNENBERG, H. Drought affects the competition between *Fagus sylvatica* L. seedlings and an early successional species (*Rubus fruticosus*): growth, water status and $\delta^{13}C$ composition. **New Phytologist**, London, v. 151, p. 427-435, 2001.

FUNG, I. Atmospheric CO_2 variations: response to natural and anthropogenic Earth System forcings. In: BENGTSSON, L. (Ed.). **Geosphere-biosphere interactions and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p. 281-296.

GALVÃO, M. S. **Dinâmica espacial e sazonal da composição isotópica do CO_2 respirado por meio do solo em uma floresta primária na Amazônia central**. 2005. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005.

GANNES, L. Z.; DEL RIO, C. M.; KOCK, P. Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Amsterdam, v. 119a, n. 3, p. 725-737, 1998.

GLEIXNER, G.; DANIER, H. J.; WERNER, R. A.; SCHMIDT, H. L. Correlations between the ^{13}C content of primary and secondary plant products in different cell compartments and that in decomposing basidiomycetes. **Plant Physiology**, Rockville, v. 102, p. 1287-1290, 1993.

GLEIXNER G.; SCRIMGEOUR C.; SCHMIDT H. L.; VIOLA R. Stable isotope distribution in the major metabolites of source and sink organs of *Solanum tuberosum* L.: A powerful tool in the study of metabolic partitioning in intact plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 207, p. 241-245, 1998.

GOODLAND, R. A. A physiognomic analysis of the Cerrado vegetation of Central Brazil. **Journal of Ecology**, Oxon, v. 59, p. 411-419, 1971.

GOODLAND, R. História dos trabalhos no cerrado até 1968: estudos sobre a ecologia da vegetação de Cerrado. In: GOODLAND, R.; FERRI, M. G. **Ecologia do Cerrado**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p. 13-20.

GU, L., P.; J. HANSON; W. MAC POST; Q. LIU.) A novel approach for identifying the true temperature sensitivity from soil respiration measurements, **Global Biogeochem. Cycles**, Washington, 2008.

GRACE, J. Carbon cycle. **Encyclopedia of Biodiversity**, Washington, v. 1, p. 609-629, 2001.

HEIM, A.; SCHMIDT, M. W. I. Lignin turnover soil and gasland analysed with two different labeling approaches. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 599-608, 2007.

HIRUMA, L.; SANTOS, L. C.; KUSHIMA, H.; PELLIZZON, C. H. 'Qualea grandiflora, a Brazilian "Cerrado" medicinal plant presents an important antiulcer activity'. **Journal of Ethnopharmacology**, Washington, v. 104, p. 207-214, 2006.

HOBBIE, E. A.; OUIMETTE, A. P. Controls of nitrogen isotope patterns in soil profiles. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 95, n. 2-3, p. 355-371, 2009.

HOUGHTON, R. A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**, Oxford, v. 11, p. 945-958, 2005.

HARARI, J. I. **Apostila do curso de Fundamentos de Oceanografia Física**. São Paulo: Instituto Oceanográfico/USP, 1989.

HENN, M. R.; CHAPELA, I. H. Differential C isotope discrimination by fungi during decomposition of C₃- and C₄-derived sucrose, **Applied and Environmental Microbiology**, Baltimore, v. 66, p. 4180-4186, 2000.

HOUGHTON, R. A.; BOONE, R. D.; FRUCI, J. R.; HOBBIE, J. E.; MELILLO, J. M.; PALM, C. A.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWEL, G. M. L. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. **Tellus**, Copenhagen, v. 39B, p. 122-127, 1989.

IPCC. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, 2007. 21 p.

LATANSIO, S. C. R.; OLIVEIRA, A. C. P.; ROCHA, H. R.; AIDAR, M. P. M. Estrutura fitossociológica no "footprint" da torre de fluxo de carbono no Cerrado Denso *sensu stricto*, Péde-Gigante, Parque Estadual de Vassununga, SP. **Revista Biota Neotropica**, São Paulo, 2007.

ISHIDA, F. Y. **A composição isotópica do CO₂ respirado e sua variabilidade sazonal na Amazônia Oriental**. 2007. 100 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

KEELING, C. D. The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. **Geochimical et Cosmochimica Acta**, New York, v. 3, p. 322-334, 1958.

KEELING, C. D.; CHIN, J. F. S.; WHORF, T. P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. **Nature**, London, v. 382, p. 146-148, 1996.

KIMURA, M.; MURASE, J.; YAHAI, L. Carbon cycling in rice field ecosystems in the context of input, decomposition and translocation of organic material and the fate of their end products (CO₂ and CH₄). **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1399-1416, 2004.

KRONKA, F. J. N.; MATSUCUMA, C. K.; NALON, M. A.; CALI, I. H. D.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A.; SHIN-IKE, M. S.; PONTINHAS, A. A. S. **Inventário florestal do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Florestal, 2005.

LAI, C. T.; EHLERINGER, J. R.; SCHAUER, A. J.; TANS, P. P.; HOLLINGER, D. Y.; PAW, K. T.; MUNGER, J. W.; WOFSY, S. C. Canopy-scale ^{13}C of photosynthetic and respiratory CO_2 fluxes: observations in forest biomes across the United States. **Global Change Biology**, Oxford, v. 11, p. 633–643, 2005.

LAJTHA, K.; MARSHALL, J. D. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. In: LAJTHA, K.; MICHENER, R. H. (Ed.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994. cap. 1, p. 1-21.

LE DANTEC, V.; EPRON, D.; DUFRENE, E. Soil CO_2 Efflux in a beech forest: comparison of two closed dynamic systems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 214, p. 125-132, 1999.

LINN, D.M.; DORAN, J.W. Effects of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled **Soil Science Society of America Journal**, Madison 48, p. 1267-1272, 1984.

LISBOA, C. C.; CONANT, R. T.; HADDIX, M. L.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a forest-to-pasture chronosequence in the Brazilian Amazon. **Ecosystems**, New York, 2009.

LOPES, C. A. **Variabilidade de isótopos estáveis de carbono e de isótopos estáveis de nitrogênio**. 2001. 47 f. Qualificação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

LOPES, C. A.; BENEDITO, C. E. Variabilidade isotópica (^{13}C e ^{15}N) em produtores primários de ambientes terrestres e de água doce. **Acta Scientiarum. Agronomia**, Maringá, v. 24, n. 2, p. 303-312, 2002.

LUDWING, L. J.; CANVIN, D. T. The rate of photorespiration during photosynthesis in sunflower leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 48, p. 712-719, 1971.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas da perda do Cerrado brasileiro**. Disponível em: www.conservacao.org. Acesso em: 09 nov. 2005.

MARSHALL, J. D.; ZHANG, J. Carbon isotope discrimination and water-use efficiency in native plants of the north-central Rockies. **Ecology**, Washington, v. 75, p. 1887–1895, 1994.

MARTINELLI, L. A.; PESSENDA, L. C. R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C.; CERRI, C. C.; VICTORIA, R. L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.;

TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. **Oecologia**, Berlin, v. 106, p. 376-381, 1996.

MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G. P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 46, p. 45-65, 1999.

MARTINELLI, L. A.; ALMEIDA, S.; BROWN, I. F.; MOREIRA, M.Z.; VICTORIA, R.L.; STERNBERG, L. S. L.; FERREIRA, C. A. C.; THOMAS, W. W. Stable carbon isotope ratio of tree leaves, boles and fine litter in a tropical forest in Rondônia, Brazil. **Oecologia**, Berlin, v. 114, n. 2, p. 170-179, Apr. 1998.

MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E. Stable carbon isotope variation in C₃ and C₄ plants along the Amazon River. **Nature**, London, v. 353, p. 57-59, 1991.

MCCARROLL, D.; LOADER, N.J. Stable isotopes in tree rings. **Quaternary Science Reviews**, Oxford, v. 23, p. 771-801, 2004.

MEIER, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. Soil respiration in Amazônia and in Cerrado in central Brazil. In: GASH, J. C. H.; NOBRE, C. A.; ROBERTS J. M.; VICTÓRIA, R. L. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996. p. 319-330.

MIRANDA, A. C.; MIRANDA, H. S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R. J.; MCINTYRE, J. A.; MEIER, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R.; BRASS, J. Fluxes of carbon, water and energy over Brazilian Cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant, Cell and Environment**, Washington, v. 20, p. 315-328, 1997.

MITTERMEYER, R. A.; MYERS, N.; MITTERMEYER, C. G. Hotspots: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. Mexico City: CEMEX, 2001.

MORAES, J. A. P. V.; PRADO, C. H. B. A. Photosynthesis and water relations in cerrado vegetation. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro v. 4, p. 45-63, 1998.

MORAES, J. F. L. D. **Propriedade do solo e dinâmica da matéria orgânica associada às mudanças do uso da terra em Rondônia (RO)/Brasil**. 1995. 69p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon Forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brasil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 70, p. 63-81, 1996.

MURTY, D.; KIRSBAUM, M. U. F.; MCMURTIE, R. E.; MCGILUREY, H. Does conversion of forest agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. **Global Change Biology**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 105-123, 2002.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>. Acesso em: 12 jun. 2009.

NARDOTO, G. B. **Abundância natural de 15N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem do nitrogênio**. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistema) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 6, p. 1633–1640, 1988.

NEILL, C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; DE MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, n. 4, p. 1216-1225, 1997.

O'LEARY, M. H. Carbon isotope fractionations in plants. **Phytochemistry**, Oxford, v. 20, p. 553–567, 1981.

O'LEARY, M. H. Carbon isotopes in photosynthesis. **Bioscience**, Washington, v. 38, p. 328–336, 1988.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. 398 p.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. Introduction: development of research in the Cerrados. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 1-10.

OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A. ;PINTO, F.; KLINK, C. A.; NEPSTAD, D.C.; MOREIRA,A. Deep root function in soil water dynamic in Cerrado savanna of central Brasil. **Funcional Ecology**, Oxford, v. 19, p. 574-581, 2005.

OMETTO, J. P. H. B.; FLANAGAN, L. B.; MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; HIGUCHI, N.; EHLERINGER, J. R. Carbon isotope discrimination in forest and pasture ecosystems of the Amazon Basin, Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 16, n. 4, p. 56.1-56.10, 2002.

PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 18, p. 293-320, 1987.

PEREZ, S. C. J. G. A; MORAES, J. A. P. V.. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo,

arbustivo e herbáceo de um cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 27-37, 1991a.

PEREZ, S. C. J. G. A.; MORAES, J. A. P. V. Curso diário e sazonal do potencial da água e da condutância estomática em espécies de cerradão. **Revista Brasileira de Biologia**, São Paulo, v. 51, n. 4, p. 805–811, 1991b.

PIRES NETO, A. G.; ROCHA, H. R.; COOPER, M.; SHIDA, C. N. Caracterização física do Cerrado Pé de Gigante e uso das terras na região: Fisiografia da região. In: PIVELLO, V. R.; VARANDA, E. M. **O Cerrado do Pé de Gigante, Parque Estadual de Vassununga: ecologia e conservação**. São Paulo: SMA, 2005.

PIVELLO, V. R.; BITENCOURT, M. D.; MANTOVANI, W.; MESQUITA, H. N.; BATALHA, M. A.; SHIDA, C. Proposta de zoneamento ecológico para a reserva de cerrado Pé de Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). **Revista Brasileira de Ecologia**, São Paulo, v. 2, p. 108-118, 1998.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; GONZÁLEZ, G. L.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; HEIJDEN, G. V. D.; ALMEIDA, S.; IÊDA, A.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BAKER, T. R.; BÁNKI, O.; BLANC, L.; BONAL, D.; BRANDO, P.; CHAVE, J.; OLIVEIRA, A. C. A.; CARDOZO, N. D.; CZIMCZIK, C. I.; FELDPAUSCH, T. R.; FREITAS, M. A.; GLOOR, E.; HIGUCHI, N.; JIMÉNEZ, E.; LLOYD, G.; MEIR, P.; MENDOZA, C.; MOREL, A.; NEILL, D. A.; NEPSTAD, D.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M. C.; PRIETO, A.; RAMÍREZ, F.; SCHWARZ, M.; SILVA, J.; SILVEIRA, M.; THOMAS, A. S.; STEEGE, H. T.; STROPP, J. R. V.; ZELAZOWSKI, P.; DÁVILA, E. A.; ANDELMAN, S.; ANDRADE, A.; CHAO, K. J.; ERWIN, T.; FIORE, A. D.; HONÓRIO, E. C.; KEELING, H.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; CRUZ, A. P.; PITMAN, N. L.; C. A.; VARGAS, P. N.; ANGULO, H. R.; RUDAS, A.; SALAMÃO, R.; SILVA, N.; TERBORGH, J.; ARMANDO, T. L. Drought sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, Washington, v. 323, n. 5919, p. 1344–1347, 2009.

PHILIPSON, J.; PUTMAN, R.J.; STEEL, J.; WOODCELL, S. R. J. Litter input, litter decomposition and the evolution of carbon dioxide in a beech woodland—Wytham Woods. **Oecologia**, Berlin, v. 20, p. 203-217, 1975.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

QUAY, P.; KING, S.; WILBUR, D.; WOFSEY, S.; RICHEY, J. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of atmospheric CO_2 in the Amazon Basin: forest and river sources. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 94, p. 18327-18336, 1989.

RAICH, J. W.; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration relationship to vegetation and climate. **Tellus**, Copenhagen, v. 44B, p. 81-99, 1992.

RANDERSON, J. T. I.; ENTING, E. A. G.; SCHUUR, K.; CALDIERA, I. Y.; FUNG. Seasonal and latitudinal variability of troposphere D CO_2 : Post bomb contributions

from fossil fuels, oceans, the stratosphere, and the terrestrial biosphere. **Global Biogeochemical Cycles**. Washington, v. 16, n. 4, p. 1112, 2002.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F.; DIAS, T. A. B.; SILVA, M. R. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia Cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma Cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, São Paulo, v. 5, p. 5–43, 2000.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, p. 223-230, 1997.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1998. p. 47-86.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. De; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. 1. ed. Viçosa: Neput, 1995. 304 p.

RIBEIRO, S. L. C. **Dinâmica sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico em espécies arbóreas de um Cerrado *stricto sensu* na Gleba Pé-de-Gigante, P.E. Vassununga, SP- São Paulo**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; SILVA, J. A. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32., 2002, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Brasileira de Botânica, 2002. p. 124-133.

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: EMBRAPA, CPAC, 1998. p. 89-152.

RAICH, J. W.; SCHLESINGER, W.H. The global carbon dioxide flux in the soil respiration and its relationship to vegetation and climate. **Tellus**, Copenhagen v. 44B, p. 81- 99, 1992.

ROCHA, H. R. da; FREITAS, H. C.; ROSOLEM, R.; JUAREZ, R. I. N.; TANNUS, R. N.; LIGO, M. V.; CABRAL, O. M. R.; SILVA DIAS, M. A. F. Measurements of CO₂ exchange over a woodland savanna (Cerrado *sensu stricto*) in southeast Brasil. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2002.

ROBERTS, J. M. **Effects of temperature on soil respiration: A brief overview**. Wallingford: Center for Ecology and Hydrology Wallingford, 2000. 45 p.

ROSS, S. **Soil processes: a systematic approach**. New York: Chapman & Hall, 1989. 444 p.

ROUHIER, H.; BILLÈS, G.; BILLÈS, L.; BOTTNER, P. Carbon fluxes in the rhizosphere of sweet chestnut seedlings (*Castanea sativa*) grown under two

atmospheric CO₂ concentrations: ¹⁴C partitioning after pulse labeling. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 180, p. 101-111, 1996.

SALIMON, C. I. **Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental**. 2003. 97 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Cerrado**: bases para conservação e uso sustentável das áreas de Cerrado do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997.

SCHIMMEL, D. S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. **Global Change Biology**, Oxford, v. 1, p. 77-91, 1995.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**. An analysis of global change. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 588 p.

SILVA, J. M.; BATES, C. J. Biogeographic patterns and conservation in south America Cerrado: a tropical savanna hotspot. **Bioscience**, Washington, v. 52, n. 3, p. 225-233, 2002.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R.; Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **Botanical Review**, New York, v. 43, n. 4, p. 499-528, 1977.

SHIBU, M. E.; LEFFELAAR, P. A.; VAN KEULEN, H.; AGGARWAL, P. K. Quantitative description of soil organic matter dynamics—a review of approaches with reference to rice-based cropping systems. **Geoderma**, Amsterdam, v. 137, p. 1-18, 2006.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. J. W. H. **Biometry the principles and practice of statistics in biological research**. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1995. 887 p.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 19-91.

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

STILL, C. J.; BERRY, J. A.; COLLATZ, G. J.; DEFRIES, R. S. Global distribution of C3 and C4 vegetation: Carbon cycle implications. **Global Biogeochemical Cycles**, Oxford, v. 17, p. 1006, 2003.

SULZMAN, E. **Stable isotope chemistry and measurement: a primer stable isotopes in ecology and environmental science**. 2. Ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2008. 592 p.

SHIDA, C. N. **Levantamento da distribuição espacial e temporal dos elementos da paisagem e de seus determinantes, na região dos municípios de Luiz Antônio e Santa Rita do Passa Quatro (SP), como subsídio ao planejamento ambiental.** 2000. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SHIDA, C. N. Caracterização física do Cerrado Pé de Gigante e uso das terras na região: 2. Evolução do uso das terras na região. In: PIVELLO, V. R.; VARANDA, E. M. (Ed.). **O Cerrado Pé de Gigante: ecologia & conservação** – Parque Estadual de Vassununga. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente (SMA), 2005. p. 29-42.

UNESCO-SCOPE. The global carbon cycle. In: FIELD, C. B.; RAUPACH, M. R. (Ed.). **The global carbon cycle: integrating humans, climate, and the natural world.** 2004. Washington, DC, 2006. (UNESCO-SCOPE Policy Briefs, 2; Adapted from SCOPE 62).

STATSOFT INC. **Statistica 6.0.** Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 15 jul. 2009.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry – The principles and practice of statistics in biological research.** New York: W.H Freeman, 1997. 887 p.

SOLOMON, S.; PLATTNER, G.-K.; PLATTNER, R. K.; KNUTTIC, R.; FRIEDLINGSTEIN, P. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 106, n. 6, p. 1704-1709, 2009.

TANNUS, R. N. **Funcionalidade e sazonalidade sobre Cerrado e sobre ecótono Floresta-Cerrado: uma investigação com dados micrometeorológicos de energia e CO₂.** 2004. 187 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TANDARICH, J. P.; DARMODY, R. G.; FOLLMER, L. R.; JOHNSON, D. L. History of soil science-Historical development of soil and weathering profile concepts from Europe to the United States of America. **Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 2, p. 335-346, 2002.

TEERI, J. A.; STOWE, L. G. Climatic patterns and the distribution of C4 grasses in North America. **Oecologia**, Berlin, v. 23, p. 1–12, 1976.

THIERRON, V.; LAUDELOUT, H. Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 26, p. 1142-1148, 1996.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The balance water.** 1. ed. Cerrerton, New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).

TRIVELIN, P. C. O. Enriquecimento isotópico de ^{15}N por cromatografia de troca iônica. 1976. 95 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1976.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; CAMARGO, P. B.; NEPSTAD, D. C.; MARTINELLI, L. A. Below ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, p. 515-528, 1995.

TU, K. P.; DAWSON, T. E. Partitioning ecosystem respiration using stable isotope analyses of CO_2 . In: FLANAGAN, L. B.; EHLERINGER, J. R.; PATAKI, D. E. (Ed.). **Stable isotopes and biosphere-atmosphere interactions: processes and biological controls**. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005.

UNKOVICH, M.; PATE, J.; MCNEILL, A.; GIBBS, D. J. (Ed.). **Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 2001.

VORONEY, R. P.; OELBERMANN, M. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 29, p. 342-349, 2007.

VARGAS, L.K. **Composição da comunidade microbiana do solo e sua relação com disponibilidade de nitrogênio para agricultura do milho**. 2002. 103f. Tese (Doutorado)- Programa de Pós graduação em Ciência do Solo, Faculdade Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2002.

YAKIR, D.; WANG, X. F. Fluxes of CO_2 and water between terrestrial vegetation and the atmosphere estimated from isotope measurements. **Nature** London, v. 380, p. 515-517, 1996.

YAKIR, D.; STERNBERG, S. L. The use of stable isotopes to study ecosystem gas exchange. **Oecologia**, Berlin, v. 123, p. 297–311, 2000.

YIM, M. H.; JOO, S. J.; NACANE, K. Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.175, n. 1-3, p. 585-588, 2002.

WANGAI, R.; BRYE, K. R.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; BUNDY, L. G. Land use and environmental factor influencing soil surface CO_2 flux and microbial biomass in natural and managed ecosystem in the southern Wisconsin. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 1501- 1509, 1998.

WERNER, C.; UNGER, S.; PEREIRA, J. S.; MAIA, R.; DAVID, T. S.; KURZ-BESSON, C.; DAVID, J. S.; MAGUAS, C. Importance of short-term dynamics in carbon isotope ratios of ecosystem respiration ($\delta^{13}\text{C}_R$) in a Mediterranean oak woodland and linkage to environmental factors. **New Phytologist**, London, v. 172, p. 330-346, 2006.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)