



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

**ESTUDO DE RESPIRAÇÃO DO SOLO NA FLORESTA
NACIONAL DE CAXIUANÃ, PROJETO ESECAFLOR/LBA.**

ALEX ANTONIO RIBEIRO DE OLIVEIRA

Santarém, Pará
Abril, 2014

ALEX ANTONIO RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DE RESPIRAÇÃO DO SOLO NA FLORESTA
NACIONAL DE CAXIUANÃ, PROJETO ESECAFLOR/LBA.**

ORIENTADOR: Dr. ANTONIO CARLOS LÔLA DA COSTA

Dissertação apresentado à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.
Área de concentração Interação Biosfera-Atmosfera.

**Santarém, Pará
Abril, 2014**

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a meus queridos pais,
Antonio de Oliveira (In Memoriam) e
Rosemary de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família, meu pai Antonio (In Memoriam), minha mãe Rosemay e meus irmãos Karina e Aldo pelo total apoio e compreensão pelas minhas escolhas profissionais e acadêmicas.

Ao professor Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa, por todas as oportunidades de trabalho que me foi dado, proporcionando um aprendizado e experiências impossíveis de mensurar, pela orientação no desenvolvimento desse trabalho e por toda a paciência comigo, além da sua amizade e por se torna meu “pai científico”.

Ao projeto ESECAFLOR/LBA e seus auxiliares de campo, Ronald, Nelson e Benedito.

Aos amigos do qual tive a felicidade de trabalhar junto, Bruno Takeshi, João Junior, Maurício Castro, Rafael Costa, Guilherme Camarinha.

À Universidade Federal do Oeste do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia pela oportunidade de ingressar no mestrado.

Agradeço o apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através da bolsa de estudo.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia pela contribuição nessa etapa da minha vida acadêmica.

Aos colegas da turma do PGRNA de 2012, Luciana, Ana Paula, Margarida, Wania, Suellen e em especial ao amigo Víctor, pela amizade e por ter se tornado minha família nesse período.

Aos meus amigos de Belém, Marcus Moreira, André Figueira, Cassio Souza, Fernanda Santos, Rhuan Lopes, Gabriela Cerqueira e Marina Zanin por toda ajuda e incentivo em todos os momentos. A Dra. Lucy Rowland pela amizade e ajuda.

A todos que de alguma maneira contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

EPÍGRAFE

**“E no final, o amor que você dá é igual ao amor
que você recebe”.**

John Lennon e Paul McCartney

OLIVEIRA, Alex Antonio Ribeiro de. Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto ESECAFLOR/LBA, 2014. 52 pg. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2014.

RESUMO

A Floresta Amazônica representa cerca 5 milhões de km² do território total Brasileiro e compreende nove Estados. A Floresta Nacional de Caxiuanã está localizada no Estado do Pará e possui uma área de 330.000 hectares, onde está inserido o projeto de pesquisa ESECAFLOR/LBA, que simula artificialmente uma seca prolongada, com o objetivo de avaliar os impactos nos fluxos de carbono e no ciclo de água. É constituída de duas parcelas, uma chamada de parcela exclusão, onde temos uma estrutura física com a finalidade de eliminar 50% da água da chuva e outra parcela chamada de controle, que serve de comparação dos experimentos realizados na parcela exclusão. Os balanços de energia e gases são extremamente importantes para o equilíbrio e manutenção dos ecossistemas e em termo de magnitude, a respiração do solo é uma dos principais fluxos no ciclo global de carbono. O objetivo desse trabalho foi estudar o comportamento mensal e sazonal da respiração do solo sob diferentes condições de temperatura e umidade do solo. As medidas de respiração do solo, temperatura e umidade do solo foram realizadas simultaneamente, com frequência mensal, durante o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. As médias de respiração do solo foram de $4,86 \pm 1,50$ e $4,56 \pm 1,53$ $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ nas parcelas controle e exclusão respectivamente. As médias de temperatura do solo foram de $26,2 \pm 0,86$ e $26,5 \pm 0,72$ °C nas parcelas controle e exclusão, respectivamente, enquanto que as médias de umidade do solo foram de $12 \pm 4,30$ e $7 \pm 2,15\%$ nas parcelas controle e exclusão, respectivamente. A respiração do solo foi ligeiramente maior na parcela controle em relação à parcela exclusão, embora não tenham sido encontradas diferenças estatísticas significativas entre estas parcelas. A umidade do solo apresentou valores médios maiores na parcela controle em relação à parcela exclusão e foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as parcelas. O longo período em que a parcela exclusão está submetida a uma seca artificial, possivelmente pode ter alterado as relações entre a temperatura e umidade do solo com a respiração do solo.

Palavras-Chave: Deficiência hídrica; Temperatura do solo; Umidade do solo.

OLIVEIRA, Alex Antonio Ribeiro de. Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto ESECAFLOR/LBA, 2014. 52 pg. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2014.

ABSTRACT

The Amazon Rainforest is about 5 million km² of the total Brazilian territory and comprises nine states, The Caxiuanã National Forest is located in Para State and has an area of 330,000 hectares, where the research project ESECAFLOR/LBA, which artificially simulates a prolonged drought , with the aim of assessing the impacts on carbon fluxes is inserted and water cycle. It consists of two plots, one plot of call treatment, which have a physical structure for the purpose of eliminating 50% of rainwater and other call control plot that serves as a comparison of experiments performed on the plot exclusion. The balance of energy and gases are extremely important for the balance and maintenance of ecosystems and in terms of magnitude, soil respiration is a major stream in the global carbon cycle. The aim of this work was to study the monthly and seasonal behavior of soil respiration under different conditions of temperature and soil moisture. Measurements of soil respiration, temperature and soil moisture were performed simultaneously on a monthly basis during the period august 2009 to december 2011. The mean soil respiration was 4.86 ± 1.50 and 4.56 ± 1.53 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in control plots and treatment respectively. The mean soil temperature were 26.2 ± 0.86 and 26.5 ± 0.72 ° C in the control plots and treatment, respectively , while average soil moisture were 12 ± 4.30 and 7 ± 2.15 % in the control plots and treatment, respectively. Soil respiration was slightly higher in the control plot in relation to the treatment plot although no statistically significant differences between these parcels have been found. Soil moisture showed higher mean values in the control plot in relation to the treatment plot and statistically significant differences were found between plots. The long period in which the treatment plot is subjected to artificial drought, possibly may have altered the relationship between temperature and soil moisture on soil respiration.

Keywords : Water deficiency ; Soil temperature ; Soil moisture.

Sumário

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 1.1.1 Metodologias utilizadas para captar informações de fluxos de CO ₂ do solo | 3 |
| 1.1.2 Fontes de fluxo de CO ₂ | 3 |
| 1.1.3 Respiração do solo..... | 5 |
| 1.1.4 Temperatura do solo | 10 |
| 1.1.5 Umidade do solo..... | 11 |
| 1.1.6 Liteira | 12 |
| 1.1.7 Regime de precipitação na Amazônia e fenômeno atmosférico responsável pela sua alteração. | 13 |
| 1.2 OBJETIVO | 15 |
| 1.2.1 Objetivo Geral: | 15 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos: | 15 |
| 2. REFERÊNCIAS | 16 |
| CAPÍTULO 1 | 22 |
| 1. Introdução..... | 24 |
| 2. Materias e Métodos | 25 |
| 2.1 Área de estudo | 25 |
| 2.2 Projeto ESECAFLOR/LBA | 26 |
| 2.3 Clima..... | 30 |
| 2.4 Desenho experimental..... | 31 |
| 2.5 Respiração do solo | 33 |
| 2.6 Temperatura e umidade do solo..... | 34 |
| 2.7 Análise Estatística..... | 34 |
| 3. RESULTADOS | 35 |
| 3.1 Respiração do solo nas parcelas de controle e exclusão..... | 35 |
| 3.2 Temperatura do solo nas parcelas de controle e exclusão | 39 |

| | | |
|-----|---|----|
| 3.3 | Umidade do solo nas parcelas de controle e exclusão | 44 |
| 3.4 | Regressões lineares simples e múltiplas | 48 |
| 3.5 | Respiração dos componentes | 52 |
| 4. | Conclusão | 55 |
| 5. | Referências | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 01. Estoque global de carbono na vegetação e no solo (profundidade 100 cm). | 4 |
| Tabela 02. Estudos de fluxo de CO_2 do solo realizados na região amazônica. Os valores representam a média \pm desvio-padrão (quando disponível). | 8 |
| Tabela 03. Estudos de interceptação na região amazônica. | 11 |
| Tabela 04. Nomenclatura para intensidade do fenômeno El niño. | 14 |
| Tabelas do Capítulo 1 | |
| Tabela 01. Propriedades físico-químicas do solo. | 30 |
| Tabela 02. Estudos de fluxos de CO_2 na região amazônica. | 36 |
| Tabela 03. Médias das respirações do solo. | 37 |
| Tabela 04. Valores médios de temperatura do solo. | 41 |
| Tabela 05. Valores médios de temperatura do solo. | 43 |
| Tabela 06. Valores médios de umidade do solo para os períodos. | 47 |
| Tabela 07. Valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela controle. | 53 |
| Tabela 08. Valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela exclusão. | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01 - As cinco principais fontes contribuintes ao fluxo total de CO ₂ do solo. | 5 |
| Capítulo 1 | |
| Figura 01 – Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço. Estado do Pará | 25 |
| Figura 02 - Parcela controle do projeto ESECAFLOR/LBA. | 27 |
| Figura 03 - Parcela controle do projeto ESECAFLOR/LBA. | 27 |
| Figura 04- Parcela exclusão do projeto ESECAFLOR/LBA. | 28 |
| Figura 05-Interior da parcela exclusão do projeto ESECAFLOR/LBA. | 28 |
| Figura 06 - Localização das subparcelas e dos pontos onde foram realizadas as medidas de respiração do solo, temperatura e umidade do solo. | 32 |
| Figura 07 - Disposição dos pontos de respiração dos componentes nos grupos. | 32 |
| Figura 08 – Disposições dos instrumentos durante a realização da respiração do solo. | 33 |
| Figura 09 – Anel de PVC utilizado nas leituras de respiração do solo. | 34 |
| Figura 10 – Médias mensais de respiração do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. | 35 |
| Figura 11 – Médias dos períodos secos e chuvosos de respiração do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. | 38 |
| Figura 12 – Médias mensais de temperatura do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. | 40 |
| Figura 13 – Médias dos períodos secos e chuvosos de temperatura do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. | 42 |
| Figura 14 – Médias mensais de umidade do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011. | 44 |
| Figura 15 – Médias dos pontos de umidade do solo para as parcelas controle e exclusão no | 46 |

período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

- Figura 16 – Regressão linear simples para parcela controle: (a) relação entre temperatura do solo e respiração do solo, (b) relação entre umidade do solo e respiração do solo. 48
- Figura 17 – Regressão linear simples para parcela exclusão: (a) relação entre a temperatura do solo e respiração do solo, (b) relação entre umidade do solo e respiração do solo. 49
- Figura 18 – Regressão linear múltipla entre as médias da temperatura e umidade do solo e a respiração do solo da parcela controle. 50
- Figura 19 – Regressão linear múltipla entre as médias da temperatura e umidade do solo e a respiração do solo da parcela exclusão. 51
- Figura 20 – Médias da respiração dos componentes da parcela controle. 52
- Figura 21 – Médias da respiração dos componentes da parcela controle. 54

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que aproximadamente 5 milhões, em território brasileiro e o restante são divididos em outros territórios. A Amazônia Legal é uma área que corresponde a 59% do território brasileiro com aproximadamente 5,5 milhões de km², que compreende os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e parte dos estados de Goiás e Maranhão. Cerca de 70% são de florestas (38% são florestas densas e 36% florestas não densas), 13% de cerrados e campos e 13% de áreas desmatadas (Coelho, 2005).

Diversos ecossistemas estão inseridos em sua área, com isso, apresenta alta diversidade biológica. Associado com sua dimensão e localização, nas últimas décadas vem despertando interesse da comunidade científica, principalmente, para o melhor entendimento do processo solo – planta – atmosfera.

As florestas tropicais são formações naturais caracterizadas por uma vegetação densa, constituída principalmente, por espécies arbóreas, algumas podendo chegar a mais de 30m de altura, com uma complexa diversidade de flora e fauna. Ocorre nos três grandes continentes da faixa intertropical e sua distribuição é diretamente determinada pela ocorrência de alta pluviosidade, que de maneira geral é causada pelo encontro de ventos alísios que trazem umidade do oceano (Coelho, 2005).

O peso da Amazônia na luta contra a intensificação do efeito estufa, o aquecimento excessivo do clima da terra, pode ser menor do que se pensava. Novos cálculos do fluxo do principal composto atmosférico responsável pelo aumento da temperatura média do planeta, o dióxido de carbono (CO₂), revelaram que a quantidade desse gás absorvido naturalmente por esse ecossistema tropical é igual ou apenas ligeiramente maior do que a emitida e não absurdamente maiores como estudos prévios indicaram (Artaxo, 2004).

As condições climáticas e sua variabilidade espacial e temporal influenciam no funcionamento do ecossistema, que vai influenciar o clima local através de trocas turbulentas de calor, umidade e momento entre a superfície e atmosfera (Sá et al., 2007).

Atualmente não há dúvida que a ação humana esteja mudando a concentração dos gases encontrados na atmosfera. Gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (NO_x) passaram por aumentos nas suas concentrações do período pré-industrial até o presente (IPCC, 1992).

A concentração de CO₂ aumentou de 280 ppm em 1800, para 381 ppm em 2007, nos últimos 17 anos a concentração de gás carbônico na atmosfera aumentou 30 ppm, e 75% desse aumento é representado pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2001, 2007).

Após a fotossíntese, o fluxo de CO₂ proveniente do solo é a segunda maior fonte de carbono em muitos ecossistemas e pode contribuir com 60% a 90% da respiração total dos mesmos (Kuzyakov, 2006).

Em florestas, estima-se que 50-84% do dióxido de carbono emitido sejam oriundos do solo (Meir et al., 1996; Malhi et al., 1999; Chambers et al., 2004). Este processo varia muito com a vegetação e tipo de solo (Davidson et al., 2002). Segundo Malhi e Grace (2000), por meio da fotossíntese e respiração, a Floresta Amazônica processa anualmente 18 Pg C. O carbono no solo é o principal componente do ciclo de carbono terrestre, o armazenamento global de carbono no solo nos três primeiros metros da superfície é de 2,344 Pg C, o que representa três vezes a quantidade de carbono existente na atmosfera e cinco vezes a quantidade de carbono armazenada na vegetação (Jobbagy e Jackson, 2000; Sotta et al., 2004). O fluxo de CO₂ do solo é o principal fluxo do ciclo global de carbono e em segundo vem à fixação de carbono pelas plantas (Sotta et al., 2006).

Modelos globais de mudança climática indicam fortes reduções nos eventos de precipitação em regiões tropicais, especialmente na Amazônia (Foley et al., 1996; Cramer et al., 2001). Como efeito da diminuição na recirculação de água entre a biosfera desflorestada e a atmosfera, o clima da região Amazônica pode tornar-se mais seco (Shukla et al., 1990; Nobre et al., 1991; Costa e Foley, 2000).

Deste modo, torna-se de vital importância estudos climáticos e microclimáticos, para verificar uma possível mudança e suas consequências em micro, meso ou macro escala, devido ao aumento de atividades antrópicas, como a exploração de madeira e a agropecuária, causando uma intensificação no efeito estufa, assim, um estudo sobre a respiração do solo da Floresta Amazônica é de grande importância para a compreensão do ciclo do carbono.

Dentro desse contexto, e como parte do projeto de pesquisa, “O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica”, o presente trabalho tem como objetivo analisar se possíveis alterações no conteúdo de água no solo e na temperatura do solo podem causar efeitos na respiração do solo em uma floresta tropical na região leste da Amazônia no Estado do Pará.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1 Metodologias utilizadas para captar informações de fluxos de CO₂ do solo

Atualmente existem diversas metodologias para obter fluxos de CO₂ do solo como a armadilha de álcalis, covariância de vórtices turbulentos e a utilização de um analisador de gás por infravermelho, Infra Red Gas Analyzer – IRGA. O IRGA é empregado com bastante frequência dentre os métodos existentes, pois é a medida de respiração mais direta entre o solo e a camada de liteira.

O funcionamento do IRGA é um sistema com uma cápsula refletora que tem um emissor em uma extremidade e um receptor na outra. O emissor dispara um feixe de luz no Infravermelho (0,7-12 μm), cujo feixe entra em contato com ar amostrado, e este ar com CO₂ absorve parte da radiação. A absorção da radiação pelas moléculas de CO₂ ocorre devido às propriedades quânticas da molécula, que vibra em contato com o infravermelho. Esta vibração é o resultado da modificação da energia cinética (aumenta a sua temperatura interna), reduzindo a intensidade do feixe que chega ao receptor, em relação à emitida (Silva Junior, 2008).

O uso de IRGA está se tornando cada vez mais comum entre os métodos para medidas com câmaras de respiração do solo que consiste em câmaras colocadas na superfície do solo para registrar a razão de acúmulo de CO₂ (sistema fechado) ou o fluxo de CO₂ do solo (sistema aberto). O sistema fechado pode ser dinâmico (utilizando analisador de gás por infravermelho) ou estático (utilizando absorção alcalina – NaOH ou analisador de gás por infravermelho), os quais caracterizam pela presença ou ausência de fluxo de ar dentro da câmara, podendo ainda ser fixo ou móvel. Se for fixo, a câmara permanece acoplada em um mesmo ponto e as medidas são realizadas sempre no mesmo local (Gonçalves, 2009).

1.1.2 Fontes de fluxo de CO₂

O fluxo de CO₂ é a liberação de CO₂ para atmosfera e, portanto, depende da produção de CO₂ do solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo (Coelho, 2005).

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

Na Tabela 01 abaixo temos ecossistemas em diferentes localizações no planeta, onde podemos observar que o solo armazena um estoque maior de carbono em relação a vegetação.

Podemos destacar a importância da função do solo no estoque de carbono em todos os ecossistemas citados, com destaque para florestas boreal (regiões geladas), por outro lado podemos observar o forte impacto causado com o desmatamento em áreas de agricultura, diminuindo substancialmente a estocagem de carbono na vegetação. Nas florestas tropicais, junto com o solo, a vegetação também desempenha a função de estocagem de carbono de uma forma muito relevante, isso acontece devido à heterogeneidade de espécies presente nesse ecossistema.

Tabela 01. Estoque global de carbono na vegetação e no solo (profundidade 100 cm).

| Ecossistemas | Área (10 ⁶ Km ²) | Estoque de carbono | | Total (Gt C) |
|-------------------------|--|--------------------|-------|-----------------|
| | | vegetação | solos | |
| Floresta Tropical | 17,6 | 212 | 216 | 428 |
| Floresta Temperada | 10,4 | 59 | 100 | 159 |
| Floresta Boreal | 13,7 | 88 | 471 | 559 |
| Savanas Tropicais | 22,5 | 66 | 264 | 330 |
| Campos Temperados | 12,5 | 9 | 295 | 304 |
| Desertos e semidesertos | 45,5 | 8 | 191 | 199 |
| Tundra | 9,5 | 6 | 121 | 127 |
| Pântanos | 3,5 | 15 | 225 | 240 |
| Terras agrícolas | 16,0 | 3 | 128 | 131 |
| Total | 151,2 | 466 | 2011 | 2477 |

Fonte: Machado, 2005.

Kuzyakov (2006) afirma que apenas em três zonas de produção de CO₂ são de fato interessantes, são elas: nas raízes acima do solo, nas raízes dentro do solo e no horizonte O (camada orgânica superficial).

A Figura 01 mostra as cinco principais fontes contribuintes ao fluxo total de CO₂ do solo:

- a) a decomposição microbiana da matéria orgânica da superfície do solo de raízes fora do solo e de plantas não decompostas, frequentemente referidas como respiração basal;
- b) a decomposição microbiana da matéria orgânica da superfície do solo ou os resíduos das plantas no solo;

- c) a decomposição microbiana das plantas mortas remanescentes;
- d) a decomposição microbiana dos rizodepositores, que vivem nas raízes, é frequentemente referida como respiração rizo-microbiana;
- e) a respiração das raízes.

Existem dois grupos de organismos responsáveis pela produção do CO_2 do solo, os autotróficos e os heterotróficos. Os autotróficos, seres vivos capazes de produzir seu próprio alimento a partir da fixação de CO_2 , são mais importantes para o fluxo de CO_2 pela respiração das raízes. Os heterotróficos, seres vivos que necessitam de outro ser para se alimentar, são responsáveis pela maior parte do compartilhamento do fluxo de CO_2 devido a enorme quantidade de micro-organismos (bactérias e fungos) presentes no solo. A macrofauna do solo, invertebrados macroscópicos e pequenos mamíferos, também contribuem para o fluxo de CO_2 total do solo, contudo na maioria das vezes são contribuições pequenas, de poucos por cento (Kuzyakov, 2006).

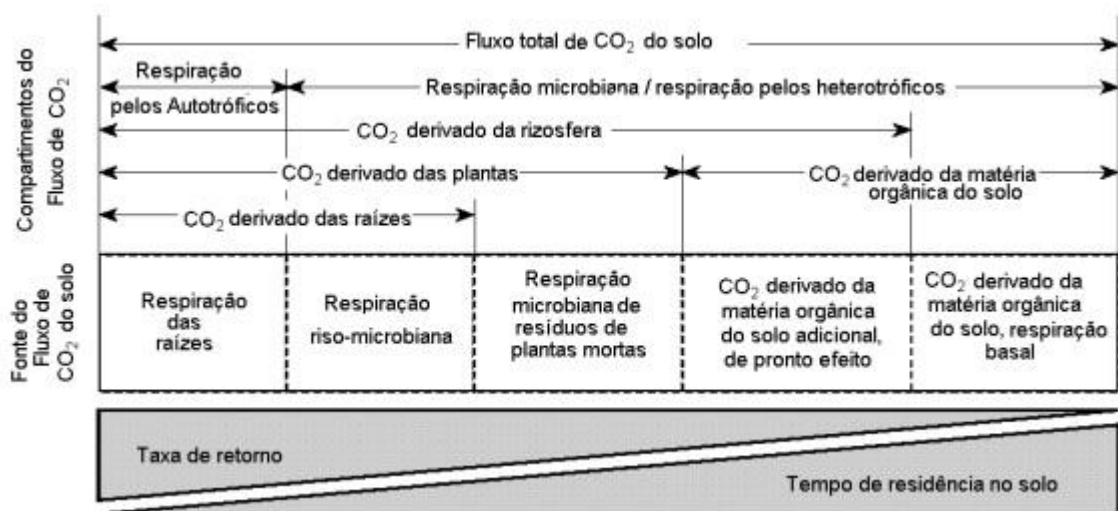


Figura 01 - As cinco principais fontes contribuintes ao fluxo total de CO_2 do solo. Fonte: Silva Junior (2008) adaptada de Kuzyakov (2006).

1.1.3 Respiração do solo

Os fluxos de gases são extremamente importantes para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, qualquer variação sendo ela natural ou antrópicas pode levar até mudanças irreversíveis. A combinação das taxas de respiração autotrófica e heterotrófica seria o fluxo do CO_2 do solo. Essa determinação é importante para entender a dinâmica da emissão de CO_2 pelo solo em florestas tropicais, seu balanço interno e sua contribuição no balanço global de carbono.

O fluxo de CO₂ do solo incorpora tanto a respiração do solo como a difusão passiva do CO₂ englobando processos biológicos e físico-químicos, e representa as trocas de CO₂ entre compartimentos de um sistema, enquanto a respiração do solo é um processo biológico, sendo a somatória das liberações de CO₂ para a atmosfera resultante de vários processos que ocorrem na liteira, superfícies e camadas mais profundas do solo como: a respiração dos micro-organismos e da macrofauna; processos fermentativos que ocorrem em profundidade sob condições de anaerobiose; e a oxidação química. Porém respiração do solo não é sinônimo de fluxo de CO₂ do solo, embora eles sejam frequentemente usados como tal.

A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica no solo, e inclui a respiração de raízes e organismos do solo (Gonçalves, 2009).

Após a produtividade primária bruta, a respiração do solo é um dos principais fluxos no ciclo global de carbono em magnitude (Raich e Schlesinger, 1992; Schlesinger e Andrews, 2000).

A respiração global do solo compreende uma liberação do carbono à atmosfera de aproximadamente 80 Pg C ano⁻¹ e as maiores contribuições vêm das florestas tropicais e subtropicais (Raich et al., 2002).

A respiração do solo é altamente variável, no tempo e no espaço, e em diferentes escalas. As variações temporais foram descritas em várias escalas de tempo, da diurna a anual (Rayment e Jarvis, 2000; Savage e Davidson, 2001; Subke et al., 2003; Scott et al., 2004). Entretanto, a medida da respiração total (noturna, inclusive) continua incerta (Araújo et al., 2002), e, neste contexto a componente-escala de medidas podem ajudar a confirmar o valor para a respiração total e estimativa da produtividade líquida do ecossistema (Meir e Grace, 2002).

A taxa de transferência do CO₂ do solo para a atmosfera pode ser controlada por cinco fatores: i) pela sua taxa de produção no solo; ii) pelos gradientes de temperatura; iii) por sua concentração na interface solo atmosfera; iv) pelas propriedades físicas do solo e v) pelas flutuações da pressão atmosférica do ambiente (Sotta, 1998).

O fluxo de CO₂ do solo é fortemente correlacionado com a temperatura do solo e com a umidade do solo, podendo explicar as variações sazonais do fluxo de CO₂ (Buchmann, 2000; Sotta et al., 2004; Salimon et al., 2004).

A Tabela 02 abaixo têm alguns estudos de fluxo de CO₂ realizados para a região Amazônica. Segundo Sánchez et al., 2003 o fluxo de CO₂ no solo depende do tipo do solo, temperatura do solo, umidade do solo, ocorrência de precipitação, taxa de fotossíntese nas plantas e substratos disponível para decomposição no solo.

Esses fatores juntos com a metodologia utilizada e o período escolhido para a coleta dos dados possivelmente responsáveis pelas variações nos fluxos de CO₂ descritos na Tabela 02.

Estudos de Meir, 1996; Davidson et al., 2000; Chambers et al., 2004 observaram variações de 3,2 a 6,2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nas taxas de respiração média do solo para diferentes áreas de florestas na Amazônia para temperaturas do solo entre 22°C e 25,1°C, esse estudos sugerem que 50% a 84% da respiração total vêm do solo e, conseqüentemente, é o maior componente da respiração do ecossistema Amazônico.

1 Tabela 02. Estudos de fluxo de CO₂ do solo realizados na Região Amazônica. Os valores representam a média ± desvio-padrão (quando
2 disponível).

| Autor | Período | Local | Vegetação | Fluxo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | Metodologia |
|---------------------------------|---------------------|--|---------------------------|---|------------------------------|
| Coutinho e Lamberti (1971) | Seca (Ago - Set) | Barcelos, AM, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa | 2,8 | Solução aquosa 0,5N KOH |
| Martins e Matthes (1978) | Seca (Julho) | Manaus, AM, Brasil. | Campinarana, Campina | 1,4 ± 0,5 | Solução aquosa 0,5N KOH |
| Medina <i>et al.</i> , (1980) | 2 anos | San Carlos do Rio Negro, Venezuela. | Floresta de Laterita | 3,1 ± 0,5 | Solução aquosa 0,5N KOH |
| Wofsy <i>et al.</i> , (1988) | 2 anos | Reserva Duke, Manaus, AM, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa | 4,5 | IRGA câmara estática Fechada |
| Fan <i>et al.</i> , (1990) | Chuvosa (Abr - Mai) | Reserva Duke, Manaus, AM, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa | 5,9 | IRGA câmara estática Fechada |
| Meir <i>et al.</i> , (1996) | | Reserva Jaru, RO, Brasil. | Floresta Ombrófila Aberta | 5,5 ± 1,6 | IRGA câmara estática Fechada |
| Davidson <i>et al.</i> , (2000) | 1 ano | Fazenda Vitória, Paragominas, PA, Brasil | Floresta Ombrófila Densa | 5,3 | IRGA câmara estática Fechada |

| | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|--|---|------------------------------|
| Chambers <i>et al.</i> , (2004) | 1 ano | Manaus, AM, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (platô) | 3,8 | IRGA câmara estática Fechada |
| Sotta <i>et al.</i> , (2004) | Chuvosa (final) | Manaus, AM, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (platô) | 6,4 ± 0,25 | IRGA câmara estática Aberta |
| Valentinni (2005) | 1 ano | Sinop, MT, Brasil. | Floresta de transição | 7,5 | IRGA câmara estática |
| Sotta <i>et al.</i> , (2006) | 2 anos | FLONA de Caxiuanã, PA, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (terra firme) | 3,96 ± 0,06 (argiloso) 3,08 ± 0,07 (arenoso) | IRGA câmara estática |
| Gonçalves (2009) | 1 ano | FLONA de Caxiuanã, PA, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (terra firme) | 2,84 ± 0,20 | IRGA câmara estática Fechada |
| Silva Junior (2013) | 1 ano | FLONA de Caxiuanã, PA, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (terra firme) | 3,46 ± 0,44 | IRGA câmara estática Fechada |
| Estudo presente | 2 anos | FLONA de Caxiuanã, PA, Brasil. | Floresta Ombrófila Densa (terra firme) | 4,86 ± 1,60 | IRGA câmara estática Fechada |

3 Fonte: Adaptado de Sotta *et al.*, 2004 e Silva Junior 2008.

1.1.4 Temperatura do solo

A energia radiante que atinge a superfície terrestre será destinada a alguns processos físicos principais e dentre esses, um está relacionado ao aquecimento do ar (convecção) e outro ao aquecimento do solo (condução), portanto, responsáveis pelas variações de temperatura nestes meios (Perreira et. al., 2002).

A temperatura é a grandeza que expressa à quantidade de calor sensível em um corpo. A temperatura do solo, tanto na superfície como em diferentes profundidades, pode variar bastante no tempo e no espaço, a oscilação da temperatura do solo apresenta ciclos horários, diários e anuais (Varejão-Silva, 2001).

O regime térmico de um solo é determinado pelo aquecimento de sua superfície pela radiação solar e transporte de calor sensível ao seu interior, pelo processo de condução. Chama-se calor sensível ao calor trocado (ganho ou perdido) por um corpo que acarreta mudança de temperatura do corpo, mas sem mudar a forma de ligação de suas moléculas (formas sólida, líquida ou gasosa). Chama-se calor latente ao calor ganho ou perdido por um corpo e que acarreta mudança de forma de ligação das moléculas do corpo (mudança de estado), mas sem mudar a temperatura.

A variação temporal e espacial da temperatura de um solo depende de sua condutividade térmica, e de seu calor específico, e de sua emissividade (poder emissor da superfície), os quais irão depender de sua textura, densidade e umidade. Solos barrentos e argilosos têm a maior condutividade térmica, conduzindo calor a maiores profundidades, resultando em menor amplitude térmica em camadas superiores (Coelho, 2005).

Segundo Kirschbaum (1995), pequenas variações na temperatura da superfície do solo podem influenciar na magnitude do fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera, assim podendo contribuir para um possível aumento na concentração atmosférica.

A sazonalidade da temperatura do solo tem uma forte influencia na respiração do solo podendo causar variações nesse processo (Davidson et. al., 2000). A taxa de respiração do solo é um indicador de atividade microbiana do solo, aumentando linearmente com a temperatura (Subke et al., 2003).

1.1.5 Umidade do solo

A umidade do solo expressa o teor de água presente no solo e possui papel fundamental nos processos de transferência de energia interna. A velocidade de infiltração de água no solo é inversamente proporcional à precipitação pluvial, isto é, quanto há ocorrência de pequenas quantidades de chuva a infiltração atinge velocidades maiores do que no período onde ocorrem mais eventos de chuva (Costa, 2006).

A parte de precipitação que não atinge o solo e fica retida em obstáculos, sobretudo em partes das plantas, retorna para a atmosfera por evaporação direta. Este processo é tratado como interceptação, podendo representar uma perda considerável em função da espécie da cobertura vegetal predominante, além de depender do ecossistema presente. A parcela da água da chuva que é interceptada pela vegetação é componente importante do ciclo hidrológico (Nobre, 2004) e também no balanço hídrico de uma área (Artaxo, 2004).

A Tabela 03 abaixo têm alguns estudos de interceptação realizados na Amazônia. Com exceção de Ubarana (1996) os demais resultados foram em torno de 20% de interceptação da precipitação pela vegetação. Segundo Oliveira et al., (2008) a interceptação apresenta pouca variação durante o ano contudo no período seco a interceptação funciona com mecanismo de auto abastecimento de água no solo desempenhado uma função enorme para o ciclo hidrológico. Sazonalmente para a Floresta Nacional de Caxiuanã, Oliveira et. al., (2011) mostrou diferenças entre os períodos seco e chuvoso, no período seco a interceptação foi de 39,6% e no período chuvoso foi de 14,9%.

Tabela 03. Estudos de interceptação na Região Amazônica.

| Autor | Local | Interceptação (%) |
|------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Leopoldo et al. (1987) | Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM) | 21,3 |
| Ubarana (1996) | Reserva Vale do Rio Doce (PA) | 12,9 |
| Ferreira et al. (2005) | Floresta Intacta, ZF-2, km 23 (AM) | 19,2 |
| Oliveira et al. (2008) | Floresta Nacional Caxiuanã (PA) | 21,5 |

Fonte: Adaptado de Oliveira et al., (2008).

No caso de florestas onde predomina a heterogeneidade, quer seja pela biodiversidade, como nas florestas tropicais e equatoriais quer seja pela diferença de idade de algumas poucas espécies predominantes, como nas florestas temperadas, a interceptação da chuva pela vegetação é bastante variável, oscilando desde 7% até mais de 50% em função de diversos fatores (Nobre, 2004).

Como a sazonalidade, variabilidade temporal e espacial da umidade do solo exerce forte influência no processo de decomposição microbiana, pode haver aumento da respiração do solo. Estudos sobre emissão de CO₂ encontraram relação significativa deste processo com a umidade do solo, sugerindo que o nível de umidade ótimo para a emissão de CO₂ ocorre na capacidade de campo (Gonçalves, 2009).

Estudos de Davidson et. al., 2002 e Pinto Junior 2007 observaram que logo após um evento de chuva ocorre um aumento do fluxo de CO₂, isto porque a água quando drenada para o solo força a saída do CO₂ presente nos poros, e após algumas horas há uma queda brusca no fluxo, que se dá devido a uma camada de proteção que a água faz no solo, evitando assim a emissão do CO₂ para a atmosfera.

1.1.6 Liteira

A liteira é definida como todo tipo de material biogênico em vários estádios de decomposição, material esse que representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras (Brun et al., 2001). A camada de liteira é representada pela biomassa aérea da vegetação que permanece no solo até ser fragmentada e decomposta pelos processos físico-químicos e bióticos que ocorrem nesta importante fração do ecossistema (Gonçalves, 2009).

Fatores responsáveis pela decomposição da liteira são inúmeros, se destacam se: tipo de vegetação, herbivoria a que está submetida, latitude, altitude, relevo, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz, foto período, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo. Como as florestas tropicais úmidas amazônicas são em sua maioria das vezes estabelecidas em solo de baixa fertilização natural, a produção total da liteira e sua decomposição em matéria orgânica vai auxiliar o solo a supri a necessidade na ciclagem de nutrientes da vegetação para o solo.

Estudos da produção de liteira realizados na Floresta Nacional de Caxiuanã por Silva et al., 2009 constatou que no período chuvoso da região é quando há menor produção de liteira, ao passo que no período seco da região são registrados os maiores valores, e nas parcelas controle e exclusão do projeto ESECAFLOR/LBA para o período de 2002 a 2003

houve uma produção total de 8,87 e 6,64 t.ha⁻¹.ano⁻¹ respectivamente, representando uma redução na ordem de 25% na parcela exclusão.

Para os anos de 2004 a 2010 a produção acumulada de folhas, galhos e flores/ frutos, foi de 3,66, 0,77 e 0,65 t.ha⁻¹ ano⁻¹; 3,16, 0,62 e 0,37 t.ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para as parcelas controle e exclusão, uma redução da ordem de 15,82%, 24,19% e 75%, entre as produções dos componentes da liteira acumulada da parcela controle em relação à parcela exclusão (Matos, 2012).

Segundo Davidson et al. (2002), a deposição da liteira exerce relevante influência sobre o fluxo de CO₂, assim, qualquer fator que altere essa deposição pode afetar a taxa de respiração.

1.1.7 Regime de precipitação na Amazônia e fenômeno atmosférico responsável pela sua alteração.

A Zona de Convergência Intertropical se caracteriza por uma grande área de faixa de instabilidade atmosférica e nebulosidade em grande escala, que favorece o desenvolvimento de intensas correntes de precipitação abundante. Fortes aguaceiros acompanhados de relâmpagos e trovões são comuns em toda a faixa da ZCIT e como sua posição oscila durante o tempo, a precipitação gerada vai sendo distribuída sobre determinada faixa de considerável largura, a ZCIT oscila entre 05° Sul e 14° Norte, acompanhando o movimento aparente do sol, e é fator fundamental para determinar a precipitação na região (Varejão-Silva, 2001). Os sistemas convectivos são responsáveis pelas precipitações durante todo o ano, porém são mais perceptíveis no período seco onde há muita energia potencial convectiva disponível associada ao estado termodinâmico da atmosfera resultando em precipitação, em sua maioria das vezes, localizada, porém podendo chegar a uma forte intensidade, além disso, os sistemas convectivos são os principais responsáveis pelas precipitações no período seco. O local onde o estudo foi desenvolvido sofre influência direta desses sistemas.

Temperaturas anômalas (positivo ou negativo) na superfície do mar do Oceano Pacífico Equatorial Central pode resultar em fenômenos atmosféricos denominados El niño ou La niña. No El niño há um aquecimento de uma faixa do Pacífico Equatorial, o ramo descendente da Célula de Walker (correntes de ventos paralelos à linha do equador sobre o Oceano Pacífico) pode algumas vezes atuar sobre o Brasil (Amazônia e Nordeste), dependendo da posição da área mais aquecida. Se a área aquecida estiver próxima ao litoral da América do Sul, o ramo descendente pode chegar até o Nordeste, se estiver mais afastado

do litoral o ramo pode atingir a Amazônia e se o aquecimento ocorrer bem longe do litoral, pode não atingir o Brasil. Esse ramo descendente sobre determinada área, em princípio, deve aumentar a pressão sobre este e conseqüentemente inibir a formação de nuvens, contribuindo assim para a redução da precipitação (Silva, 2000).

Durante o La Niña, as temperaturas são mais frias que o normal no Oceano Pacífico Equatorial Central, contribuindo para a inibição da formação de nuvens precipitáveis sobre aquela região.

Condições mais úmidas que o normal se desenvolvem no Norte do Brasil, onde, causam efeitos contrários àqueles do El Niño, aumentando a precipitação nessas regiões. Para a determinação de intensidade deste fenômeno usa-se a temperatura da superfície do mar, onde temos a escala na Tabela 04 abaixo.

Tabela 04. Nomenclatura para intensidade do fenômeno El niño.

| Sigla | Intensidade |
|----------------|-----------------------------------|
| W/M | Fraco a moderado (Weak/Modarate) |
| M | Moderado (Modarate) |
| S | Forte (Strong) |
| S ⁺ | Ligeiramente forte (Quite Strong) |
| VS | Muito Forte (Very Strong) |

Fonte: Adaptado de Silva 2000.

O evento “muito forte” alcança valores de 7 a 12°C acima do normal. No evento “forte” os valores vão de 3 a 5°C sobre a normal e no evento “moderado” chegam de 2 a 3°C acima da normal (Silva, 2000).

1.2 OBJETIVO

A pergunta do trabalho é: Qual o efeito da deficiência hídrica na respiração do solo nas parcelas do projeto ESECAFLOR/LBA.

Hipótese nula: A respiração do solo nas parcelas controle e exclusão não apresentam diferenças significativas.

Hipótese alternativa: A respiração do solo nas parcelas controle e exclusão apresentam diferenças significativas.

1.2.1 Objetivo Geral:

- Avaliar o comportamento mensal e sazonal da respiração do solo sob diferentes condições de temperatura e umidade do solo em uma floresta tropical chuvosa submetida a um estresse hídrico artificial – Projeto ESECAFLOR / LBA.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Analisar a relação entre a sazonalidade da respiração do solo e as diferentes condições de temperatura do solo;
- Analisar a relação entre a sazonalidade da respiração do solo e as diferentes condições de umidade do solo;
- Analisar a dependência da respiração do solo em relação à temperatura e umidade do solo.
- Analisar a sazonalidade da respiração do solo com diferentes proporções de liteira.

2. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT B. et al. comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, v. 107, Doi: 10.1029/2001Jd000676, 2002.

ARTAXO, M. O peso da Amazônia tropical contra o aumento do efeito estufa. *O Farol Eletrônico*, p. 22-32-33, 2004.

BUCHMANN, N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in picea abies stands. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 32, p. 1625 – 1635, 2000.

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

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

CHAMBERS, J.Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L.C.; CRISPIM, B. F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; ARAUJO, A.C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S. E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Applications*, Washington, v.14, n.4, p. S72-S88, Aug. 2004.

COSTA, A. C. L.; SILVA, A. C. S.; GONÇALVES, P. H. L.; COSTA, M. C.; BARRETO, P. N. Efeito da exclusão da água da chuva no solo sobre a variabilidade mensal da biomassa em floresta tropical chuvosa na Amazônia oriental – Projeto ESECAFLOR. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis-SC. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, 2006.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A.; Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations, *Journal of Climate*, v. 13, p. 18-34, 2000.

CRAMER, W.; BONDEAU, A.; WOODWARD, F. I.; PRENTICE, I.C.; BETTS, R. A.; BROVKIN, V.; COX, P. M.; FISHER, V.; FOLEY, J. A.; FRIEND, A. D.; KUCHARIK, C.; LOMAS, M. R.; RAMANKUTTY, N.; SITCH, S.; SMITH, B.; WHITE, A.; YOUNG-MOLLING, C. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, v. 7, p. 357-373, 2001.

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

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L. V.; CATTÂNIO, J. H. et al. Effects of soil water content on soil respiration in florets and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, v. 48, p. 53-69, 2000.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; BOLSTAD, P.; CLARK, D.A.; CURTIS, P.S.; ELLSWORTH, D. S.; HANSON, P. J.; LAW, B. E.; LUO, Y.; PREGITZER, K.S.; RANDOLPH, J.C.; ZAK, D. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, San Andreans, v.113, n.1/4, p.39-51, Dec. 2002.

FOLEY, J. A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N., LEVIS, S.; POLLARD, D.; SITCH, S.; HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of lands surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 10, p. 603-628, 1996.

GONÇALVES, P. H. L. Influência de variáveis biofísicas nas taxas de respirações de solos em floresta tropical da Amazônia oriental, 2009. 54p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG. 2009.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific assessment*, 1992.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis – The Carbon Cycle and Atmospheric Carbon Dioxide, 2001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, 2007.

JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, v. 10, p. 423-436, 2000.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature-dependence of soil organic-matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, 27, n. 6, p. 753-760, June 1995.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry*, v.38, p. 425-448, 2006.

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

MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22: p. 715-740. 1999.

MALHI, Y.; ROBERTS, J.T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate change, deforestation and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860): p. 169-172. 2008.

MALHI, Y.; GRACE, J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide *TREE*, v. 15, n. 8, August 2000.

MATOS, R. M. M.; COSTA, A. C. L. Efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na flona Caxiuanã-Pará. *Rev. Biologia Neotropical*. 9(2): 24-36. 2012.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.C.; LLOYD, J. Soil respiration in a rainforest in Amazônia and cerrado in central Brazil. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.;

VICTORIA, R. L. (Eds.). Amazonian deforestation and climate. Wiley, Chichester. p. 319-330, 1996.

MEIR, P., GRACE, J. Scaling relationships for woody tissue respiration in two tropical rainforests. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, p. 963–973, 2002.

NOBRE, C. A. O aquecimento global e o papel do Brasil.. *Revista Ciência Hoje*, São Paulo, v. 36, p. 38-40, 2004.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, p. 957-988, 1991.

OLIVEIRA, L. L.; FERREIRA DA COSTA, R.; SOUZA, F. A. S.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. Vol. 38(4) 2008: 723 – 732.

OLIVEIRA, L. L.; CUNHA, A. C.; COSTA, A. C. L.; COSTA, R. F. Sazonalidade e interceptação da chuva na Floresta Nacional em Caxiuanã - Amazônia Oriental. *Scientia Plena* 7, Vol. 7, Num. 10.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. 478 p. 2002.

PINTO JÚNIOR, O. B. Fluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônica cerrado e em área de pastagem. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, p. 65, 2007.

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

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biology*, v. 8, p. 800-812, 2002.

RAYMENT, M.; JARVIS, P. G. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian Boreal Forest. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 32, p. 35-45, 2000.

SALIMON, C. I.; DAVIDSON, E. A.; VICTORIA, R. L.; MELO, A. W. F. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. *Global Change Biology*. v.10, p.833-843, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00776.x, 2004.

SAVAGE, K.; DAVIDSON, E. Interannual variation of soil respiration in two New England Forests. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 15, p. 337-350, 2001.

SÁ, L. D. A.; SILVA, R. B. C.; SOUZA, W.; NASCIMENTO, P.; CATTANIO, J. H. Protocolos de dados básicos: Variações do clima em Caxiuanã. In: I Seminário Científico do PPBio. Anais. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2007. Disponível em: <http://marte.museu-goeldi.br/ppbio>.

SÁNCHEZ, M.L.; OZORES, M.I.; LÓPEZ, M.J.; COLLE, R.; de TORRE, B.; GARCÍA, M.A.; PÉREZ, I. Soil CO₂ fluxes beneath barley on the central Spanish plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.118. 85-95. 2003.

SCHLESINGER, W.; ANDREWS, J. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, v. 48, p. 7-20, 2000.

SCOTT, R. L.; EDWARDS, E. A.; SHUTTLEWORTH, W. J.; HUXMAN, T. E.; WATTS, C.; GOODRICH, D. C.; Interannual and seasonal variation in fluxes of water and carbon dioxide from a riparian woodland ecosystem. *Agricultural & Forest Meteorology*, v. 122, p. 65-84, 2004.

SHUKLA, J.; NOBRE, C. A.; SELLERS, P.; Amazon deforestation and climate change. *Science*, v. 247, p. 1322-1325, 1990.

SILVA, J. F. El niño, o fenômeno climático do século. Brasília. 139 p., 2000.

SILVA JUNIOR, J. A. Efeitos da exclusão da chuva no fluxo de co₂ do solo na floresta nacional de Caxiuanã, Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande –UFCG, Campina Grande, PB, 80p.

SOTTA, E.D. Fluxo de CO₂ entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central, 1998. 150p. Dissertação de (Mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1998.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J. D. Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in a mature spruce forest in southern Germany. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 35, p. 1467-1483, 2003.

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

SOTTA, E.D.;VELDKAMP, E.; GUIMARÃES, B.; PAIXÃO, R. K.; RUIVO, M. L. P. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 237, p. 57-64, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M.A.S. Meteorologia e Climatologia. Brasília-INMET. Gráfica e Editora Pax, 532p. 2001.

CAPÍTULO 1

ESTUDO DE RESPIRAÇÃO DO SOLO NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PROJETO ESECAFLOR/LBA*.

Alex Antonio Ribeiro de Oliveira

Antonio Carlos Lola da Costa

*Capítulo escrito de acordo com as normas do periódico ACTA AMAZONICA (ISSN 0044-5967) versão impressa.

Estudo de respiração do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, projeto ESECAFLOR/LBA.

Alex Antonio Ribeiro de Oliveira¹; Antonio Carlos Lôla da Costa²

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia- Universidade Federal do Oeste do Pará/ UFOPA, Rua Vera Paz, s/n Santarém 68135110 - Santarém, Pará, Brasil

²Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Av. Augusto Correa s/nº, 66075110 Guamá, Belém, PA, Brasil.

RESUMO

A Floresta Nacional de Caxiuanã está localizada no estado do Pará e possui uma área de 330.000 hectares onde está inserido o projeto de pesquisa ESECAFLOR/LBA que simula artificialmente uma seca prolongada. Os balanços de energia e gases são extremamente importantes para o equilíbrio e manutenção dos ecossistemas e em termo de magnitude a respiração do solo é uma dos principais fluxos no ciclo global de carbono. O objetivo do trabalho foi estudar comportamento mensal e sazonal da respiração do solo sob diferentes condições de temperatura e umidade do solo. As médias de respiração do solo foram de $4,86 \pm 1,50$ e $4,56 \pm 1,53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ nas parcelas controle e exclusão, respectivamente. As médias de temperatura do solo foram de $26,2 \pm 0,86$ e $26,5 \pm 0,72 \text{ }^\circ\text{C}$ nas parcelas controle e exclusão, respectivamente, enquanto que as médias de umidade do solo foram de $12 \pm 4,30$ e $7 \pm 2,15\%$ nas parcelas controle e exclusão, respectivamente. A respiração do solo foi ligeiramente maior na parcela controle em relação à parcela exclusão e não foram encontradas diferenças estatísticas entre as parcelas. A parcela exclusão registrou valores médios de temperatura do solo ligeiramente maiores em relação à parcela controle e não foram encontradas diferenças estatísticas entre as parcelas. A umidade do solo apresentou valores médios maiores na parcela controle em relação à parcela exclusão e foram encontradas diferenças estatísticas entre as parcelas. O longo período em que a parcela exclusão está submetida a uma seca artificial possivelmente pode ter alterado as relações entre a temperatura e umidade do solo com a respiração do solo.

Palavras-Chave: Deficiência hídrica; Temperatura do solo; Umidade do solo.

1. Introdução

Os fluxos de gases são extremamente importantes para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, qualquer variação sendo ela natural ou antrópica pode levar até mudanças irreversíveis. Após a produtividade primária bruta, a respiração do solo é um dos principais fluxos no ciclo global de carbono em magnitude (Raich e Schlesinger, 1992; Schlesinger e Andrews, 2000). A respiração global do solo compreende uma liberação do carbono à atmosfera de aproximadamente 80 Pg C ano^{-1} e as maiores contribuições vêm das florestas tropicais e subtropicais (Raich et al., 2002). Em florestas, estima-se que 50-84% do dióxido de carbono emitido sejam oriundos do solo (Meir et al., 1996; Malhi et al., 1999; Chambers et al., 2004). Este processo varia muito com a vegetação e tipo de solo (Davidson et al., 2002).

A respiração do solo é altamente variável, no tempo e no espaço, e em diferentes escalas. As variações temporais foram descritas em várias escalas de tempo, da diurna a anual (Rayment e Jarvis, 2000; Savage e Davidson, 2001; Subke et al., 2003; Scott et al., 2004). Entretanto, a medida da respiração total (noturna, inclusive) continua incerta (Araújo et al., 2002). O fluxo de CO_2 do solo é fortemente correlacionado com a temperatura do solo e com a umidade do solo, podendo explicar as variações sazonais do fluxo de CO_2 (Buchmann, 2000; Sotta et al., 2004; Salimon et al., 2004). A sazonalidade da temperatura do solo tem uma forte influência na respiração do solo podendo causar variações nesse processo (Davidson et al., 2000). Segundo Davidson et al. (2002), a deposição da liteira exerce relevante influência sobre o fluxo de CO_2 , assim, qualquer fator que altere essa deposição pode afetar a taxa de respiração.

Modelos globais de mudança climáticas indicam fortes reduções nos eventos de precipitação em regiões tropicais, especialmente na Amazônia (Foley et al., 1996; Cramer et al., 2001). Como efeito da diminuição na recirculação de água entre a biosfera desflorestada e a atmosfera, o clima da região Amazônica pode torna-se mais seco (Shukla et al., 1990; Nobre et al., 1991; Costa e Foley, 2000).

Dentro do projeto de pesquisa “O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica” o presente trabalho tem como objetivo analisar se possíveis alterações no conteúdo de água no solo e na temperatura do solo podem causar efeitos na respiração do solo mensalmente, sazonalmente e em diferentes proporções de liteira na Floresta Nacional de Caxiuanã.

2. Materias e Métodos

2.1 Área de estudo

A Floresta Nacional de Caxiuanã, localizada no Estado do Pará (Figura 01), ocupa uma área de 324.060 ha, próxima da baía de Caxiuanã, entre os rios Xingu e Amazonas e compreende aproximadamente 70% do município de Portel e 30% do município de Melgaço (Lisboa, 2009). A Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), $01^{\circ} 42' 30''\text{S}$; $51^{\circ} 31' 45''\text{W}$; 60 metros de altitude ocupa uma área de 10% dentro dos 324.060 ha da Floresta Nacional de Caxiuanã e tem como objetivo servir de suporte para desenvolvimento de pesquisas de curto, médio e longo prazo além de manter parcerias com instituições de pesquisas tanto nacionais como internacionais e é administrada pelo Museu Paraense Emilio Goeldi, MPEG (Lisboa, 1997).

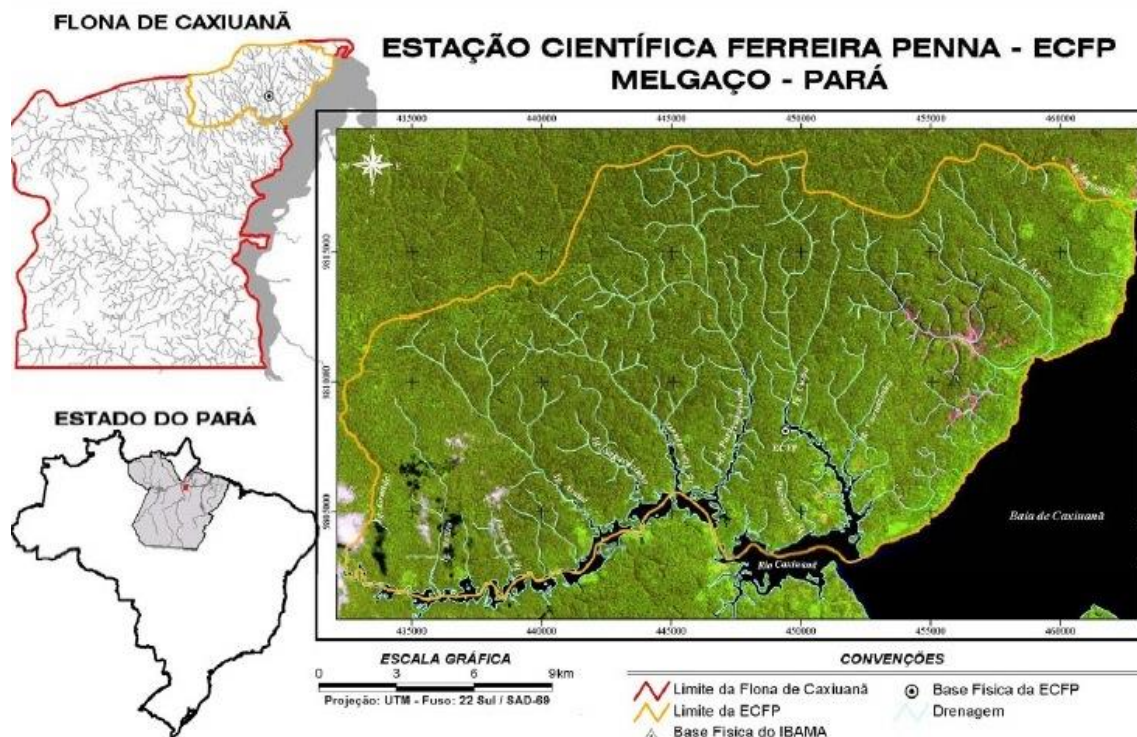


Figura 01 – Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço. Estado do Pará Fonte: MGPE/UAS/Projeto TEAM.

2.2 Projeto ESECAFLOR/LBA

O Experimento “O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica – Projeto ESECAFLOR” consiste na criação, provocada artificialmente, de um período de estiagem na floresta tropical úmida, objetivando avaliar os impactos da seca nos fluxos de água e dióxido de carbono, neste ecossistema; objetiva também analisar a influência desta exclusão de água no solo, sobre o ciclo da floresta e as alterações provocadas pelo evento de seca (Meir et al., 2003).

A estrutura física do ESECAFLOR se constitui de duas parcelas, controle e exclusão (Figuras 02, 03, 04 e 05) de 1 ha cada uma, localizadas a cerca de 1Km de distância da base Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn). A parcela controle foi usada como referência para os experimentos realizados na parcela exclusão, na qual se fez a eliminação de aproximadamente 50% da água da chuva; ressalta-se haver uma distância de 20 m entre as parcelas.

Essas áreas foram delimitadas por trincheiras de 0,5 m de largura, cavadas com profundidade variando de 0,5 a 1,5 m para facilitar a drenagem da chuva. A trincheira da parcela exclusão foi revestida com lona plástica preta, para minimizar a infiltração lateral e, na parcela controle, não foi instalado este revestimento. Para cobertura da parcela exclusão foram utilizados aproximadamente 5000 painéis, com estrutura de madeira e revestimento plástico transparente, instalados a uma altura variando de 1,5 a 4 m acima do solo. Os painéis têm largura em torno de 0,5 m, e comprimento aproximado de 3 m, oscilando de acordo com o local, permitindo também a passagem, entre eles, da vegetação de subdossel e piso.

Nesta parcela exclusão construíram-se 20 calhas de madeira com 0,3 x 0,3 m de largura e profundidade, que têm 100 m de comprimento e foram dispostas paralelamente a uma distância de 5 m, com altura em torno dos 4 m na parte central da parcela e 1,5 m nas laterais. Para evitar a infiltração da água interceptada pelos painéis, as calhas também foram revestidas com o mesmo material plástico dos painéis, o que facilitou o escoamento da água para as trincheiras laterais que direcionam esses fluxos para pontos de descarga distantes da parcela, para dificultar o retorno da água à parcela exclusão. A cobertura da parcela era mantida permanentemente limpa, com substituição dos painéis com a estrutura ou o plástico danificado pela queda de galhos, frutos e, eventualmente, árvores. Utilizou-se, em cada uma das parcelas, uma torre de ferro galvanizado com dimensões de 1,2 x 2,5 x 30 m de largura, comprimento e altura, respectivamente, sustentada por cabos-de-aço estendidos de diferentes alturas até o solo; referidas torres possuíam plataformas e escadas que permitiam fácil acesso às árvores (Costa et.al., 2007).



Figura 02 - Parcela controle do projeto ESECAFLOR/LBA. Fonte: Jake Bryant.



Figura 03 - Parcela controle do projeto ESECAFLOR/LBA. Fonte: Acervo ESECAFLOR/LBA.



Figura 04- Parcela exclusão do projeto ESECAFLOR/LBA. Fonte: Acervo ESECAFLOR/LBA.



Figura 05-Interior da parcela exclusão do projeto ESECAFLOR/LBA. Fonte: Acervo ESECAFLOR/LBA.

A floresta de terra-firme ocupa cerca de 85% da área em que foi implantada a ECFPn, a arquitetura florestal se constitui de árvores emergentes (40 a 50 m), dossel (30 a 35 m), subdossel (20 a 25 m) e piso (5 m); a diversidade varia entre 150 a 160 espécies ha⁻¹, a densidade de indivíduos é de 450 a 550 árvores ha⁻¹, e a biomassa acima do solo é de 200 m³ ha⁻¹, as espécies predominantes na floresta de terra-firme são: *Eschweilera coriacea* (Ap. Dec.) *Martius ex Berg* (Lecythidaceae) ou Matá-matá branco, *Voucapoua americana* Aublet (Caesalpiniaceae) ou Acapu e *Protium pallidum* Cuatrec (Burseraceae) ou Breu Branco (Viana et al., 2003).

Nas parcelas controle e exclusão a densidade de indivíduos com DAP ≥ 10 cm foi de 434 e 421 por hectare, respectivamente, com uma área basal de 23,9 m² ha⁻¹ na parcela controle e 24,0 m² ha⁻¹ na parcela exclusão e a diversidade de espécies arbóreas com DAP ≤ 10 cm foi de 118 e 113 por hectare na parcela controle e exclusão respectivamente (Costa et al., 2013).

Os solos de Caxiuanã vão de bem drenados a moderadamente drenados e pobres em nutrientes; têm cor bruno amarelo-escuro (10YR, 3/6) a vermelho amarelado (7,5YR, 6/6). A base do perfil constitui-se de um horizonte de areia e/ou argila caulínica, intercalada com um horizonte laterítico. O pH varia de 3,5 (muito ácido), a 5,5 (moderadamente ácido) (Ruivo et al., 2002). A mineralogia do solo é principalmente de quartzo na fração de areia (Ruivo e Cunha, 2003).

A maior parte do solo da área experimental (65%) são Latossolo amarelo, mas existem grandes diferenças na textura, com uma camada de laterita (0,3-0,4 m de espessura) na profundidade de 3-4 m. A textura da camada até 0,5 m superiores do solo é de 75% de areia e 25% de argila + silte, enquanto que a parte superior do solo tem 31% de areia e 69% de argila + silte (Silva Junior, 2008).

Na Tabela 01 abaixo temos informações das propriedades físico-químicas das parcelas controle e exclusão.

Tabela 01. Propriedades físico-químicas do solo.

| Solo 0-10 cm | Controle | Exclusão |
|---|----------|----------|
| Teor de argila (%) | 18 | 13 |
| Teor de Silte (%) | 5 | 4 |
| Teor de areia (%) | 77 | 83 |
| pH | 4,0 | 4,0 |
| Teor de carbono (g kg ⁻¹) | 9 | 12 |
| Teor de nitrogênio (g kg ⁻¹) | 0,4 | 0,3 |
| Teor de fósforo (mg dm ⁻³) | 3 | 3 |
| Troca de cátions do solo (cmol dm ⁻³) | 23 | 35 |

Fonte: Adaptado de Metcalfe et al., (2010b) e Costa et al., 2013.

2.3 Clima

O clima da região é caracterizado como tropical úmido, do tipo Ami, segundo a classificação de Köppen e o brilho de luz solar alcançam 2.100 horas ano⁻¹, a direção do vento predominante é de Nordeste (Moraes et al. 1997).

A precipitação pluviométrica anual varia de 2000-2500 mm e cerca de 85% da precipitação ocorre no período chuvoso, de dezembro a maio, esses meses quando em condições normais apresentam somas nos valores de precipitação acima de 100 mm mostrando a forte influencia de ZCIT na distribuição de precipitação para a região. O período seco, junho a novembro, apresentam somas nos valores de precipitação abaixo de 100 mm. Os meses de maio e agosto apresentaram os maiores e menores valores médios de precipitação, 341,2mm e 18,4mm respectivamente. No presente trabalho foram adotados como período chuvoso os meses de dezembro a maio e como período seco os meses de junho a novembro.

A temperatura do ar tem sua distribuição bem uniforme durante o ano, registrando seus maiores valores no período seco, de junho a novembro, com o mês de novembro apresentando seu maior valor médio de 26,6°C e seus menores valores no período chuvoso, de dezembro a maio, com o mês de fevereiro apresentando valor médio de 24,8°C. A variação média mensal da umidade relativa do ar oscila entre 95% e 88%, nos meses de fevereiro e outubro respectivamente, com média anual de 89%.

A radiação solar global sofre influencia da nebulosidade durante o período chuvoso, e em comparação ao período seco sofre uma redução de 22%. Os valores registrados nos períodos chuvoso e seco aprestaram médias diárias de 282,8 e 366,8 W.m^{-2} , respectivamente (Costa et al., 2009).

A velocidade de infiltração de água no solo tem um valor médio de 0,69 cm min^{-1} e 0,18 cm min^{-1} nas parcelas exclusão e controle respectivamente, isso corresponde a uma diferença na ordem de 73% entre as duas parcelas (Costa et al. 2006).

A umidade do solo na parcela controle varia de entre 15% e 10% no período chuvoso e período seco é apresenta os maiores volumes de água nos três primeiros metros de profundidade, no período chuvoso o maior valor de umidade do solo acontece na superfície enquanto que no período seco o maior valor acontece na profundidade de 0,5 m. Na parcela exclusão em ambos os períodos o valor variou em torno de 9% e os maiores volumes de água ocorreu na profundidade de 0,5 m para os períodos chuvoso e seco, indicando uma grande redução no conteúdo de água nas camadas superficiais do solo (Costa et al. 2006).

2.4 Desenho experimental

As parcelas de 1 hectare foram subdividida em quadrantes de 20 x 20 m totalizando 25 subparcelas (Figura 06), em cada subparcela há um ponto fixo no solo onde foram feitas as leituras de respiração do solo, simultaneamente foram registrados valores de temperatura e umidade do solo. Nas subparcelas 1, 5, 21 e 25 existem grupos de respiração do solo, chamado de respiração dos componentes, Cada grupo possui três pontos de respiração do solo, sendo o primeiro ponto condição normal, o segundo ponto sem a presença de liteira e no terceiro ponto há um acúmulo de liteira (Figura 07). Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de medições durante o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011, as medições foram realizadas uma vez ao mês, no turno diurno.

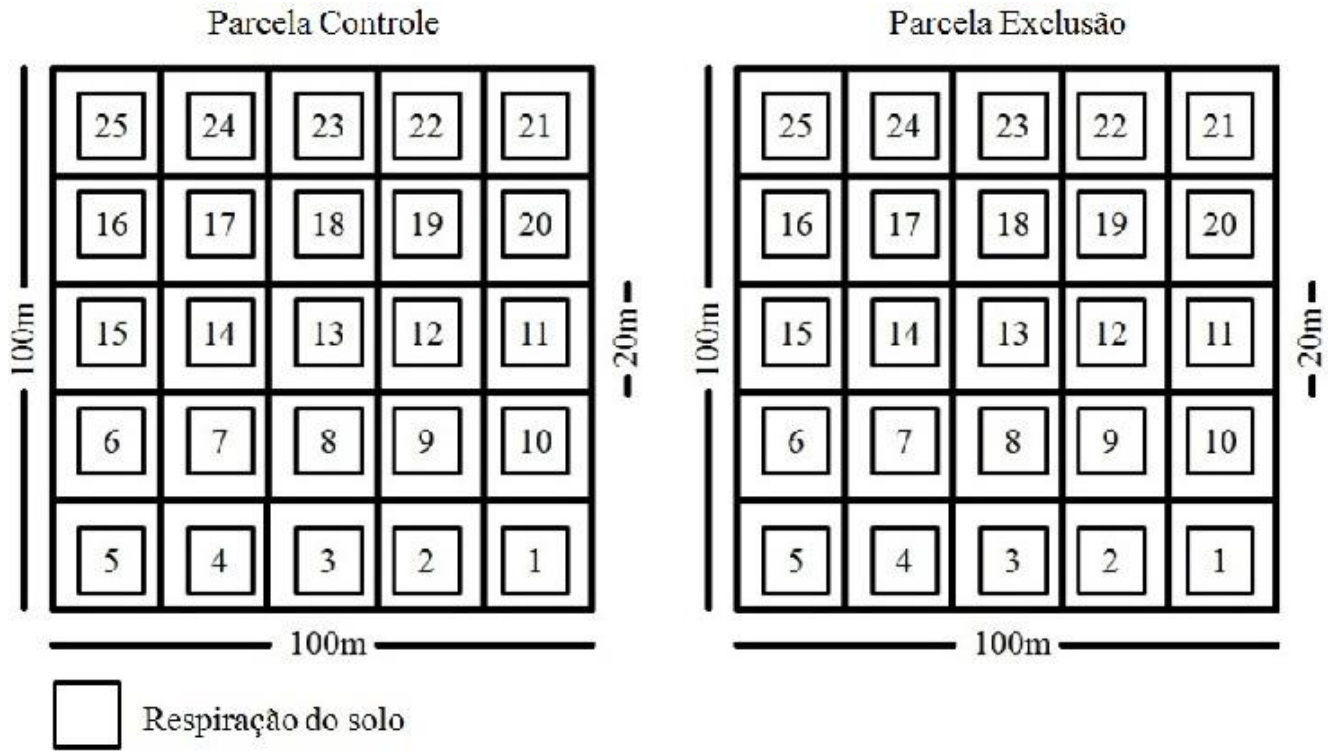


Figura 06 - Localização das subparcelas e dos pontos onde foram realizadas as medidas de respiração do solo, temperatura e umidade do solo.

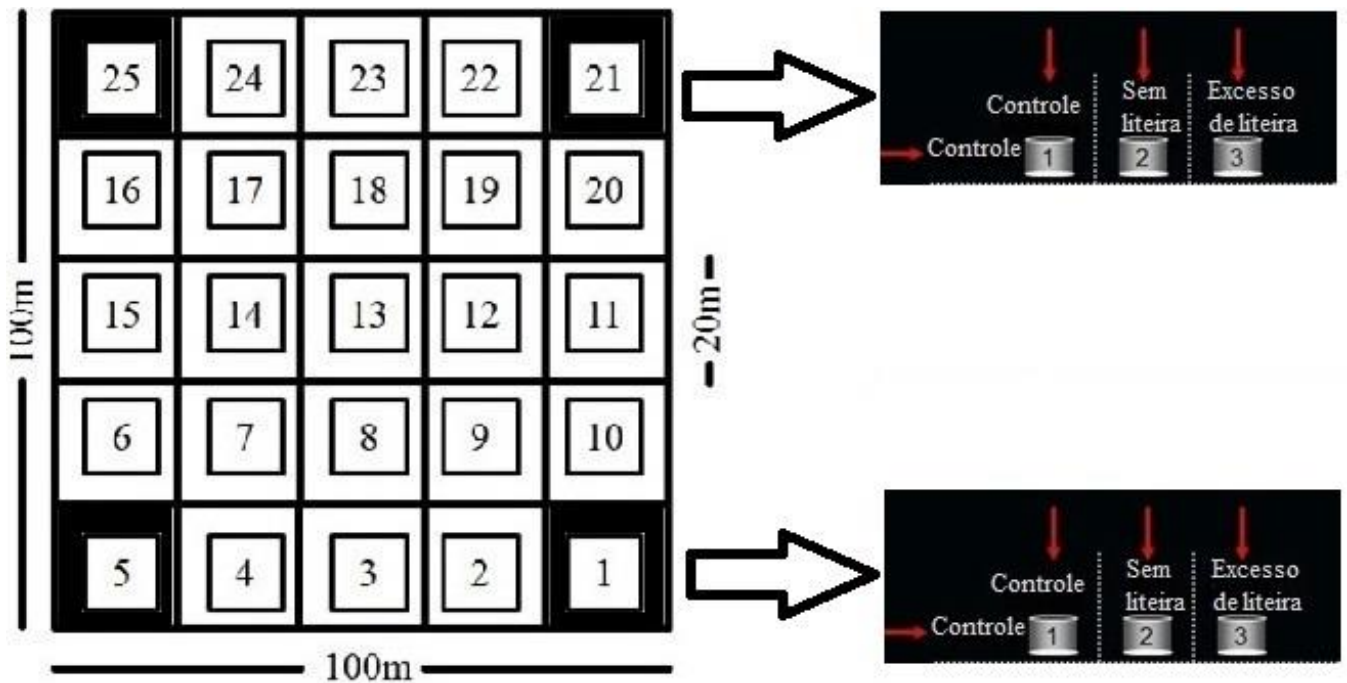


Figura 07 - Disposição dos pontos de respiração dos componentes nos grupos.

2.5 Respiração do solo

As medidas de respiração do solo foram feitas utilizando um analisador de gás infravermelho de CO₂ acoplado a uma câmara fechada, EGM-4 e SRC-1 chamber, PP Systems, Hitchin, U.K, baseado na absorção de radiação na banda do infravermelho (1 > 0,7mm) pelo CO₂, Figura 08.

A respiração do solo é dada na forma de fluxo obtido através de uma câmara fixa no solo, onde a concentração de CO₂ aumenta no tempo devido à circulação do ar, gerada pelo ventilador da câmara, em um volume de controle fechado. A respiração do solo é calculada com a taxa de variação de concentração de CO₂ dentro do volume de controle da câmara por unidade de tempo e área sobre a região coberta pela câmara (Metcalf e al., 2007).

Para a respiração do solo com o objetivo de minimizar distúrbios, evitar vazamentos e leituras incorretas causadas por fissuras no solo foram instalados em cada parcela 25 anéis de PVC com diâmetros de 100 mm e altura de 100 mm e em média enterrados a uma profundidade de 70 mm. Os anéis são ajustáveis à câmara, Figura 09, sendo distribuído um anel em cada sub parcela. Na respiração dos componentes foram instalados em cada grupo três anéis de PVC com as mesmas medidas. As coletas foram feitas uma vez ao mês.

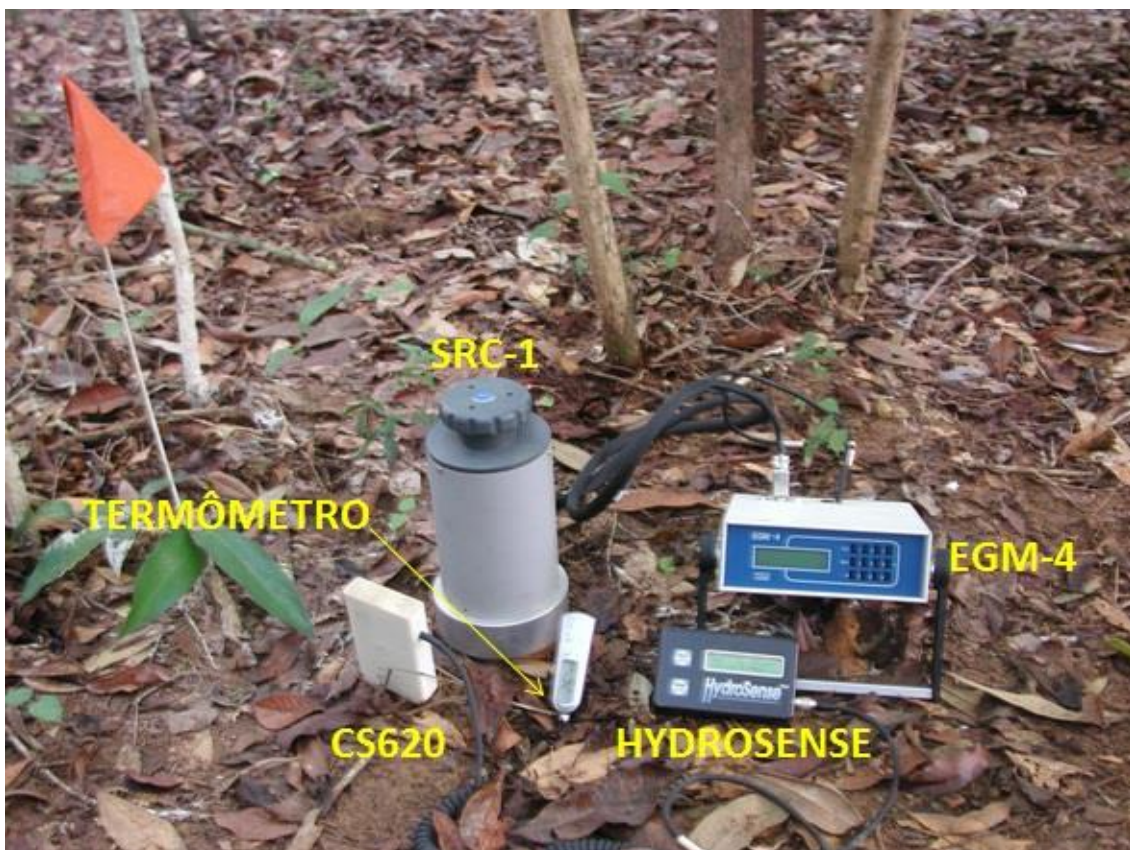


Figura 08 – Disposições dos instrumentos durante a realização da respiração do solo. Fonte: Acervo ESECAFLOR/LBA.



Figura 09 – Anel de PVC utilizado nas leituras de respiração do solo. Fonte: Acervo ESECAFLOR/LBA.

2.6 Temperatura e umidade do solo

Os dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade do solo (%) foram medidos pontualmente e no mesmo momento que foi realizado a respiração do solo. Para medir umidade solo foi utilizado um HydroSense Campbell Scientific acoplado a um sensor de conteúdo de água no solo modelo CS620 da Campbell Scientific. E para medições da temperatura do solo foi utilizado termômetro digital de contato modelo MULTI-THERMO, ambos os instrumentos tem uma haste de 12 cm.

2.7 Análise Estatística

Para os dados coletados foram feitas médias mensais e médias para os períodos, junto com seus referentes desvios padrões e coeficientes de variações. O teste t de student foi utilizado para avaliar a diferença estatística entre médias mensais das parcelas. A análise de variância (ANOVA) One-Way ou Two-Way, conforme o caso, seguido do pós-teste de Tukey (para múltiplas comparações) para as médias dos períodos e regressão linear simples e múltipla para verificar influencia das variáveis independentes (temperatura do solo e umidade do solo) sobre a variável depende (respiração do solo). O nível de significância adotado foi de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas no software R (R 3.0.0).

3. RESULTADOS

3.1 Respiração do solo nas parcelas de controle e exclusão

As médias mensais para a respiração do solo nas parcelas de controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011 estão ilustradas na Figura 10.

As médias da respiração do solo nas parcelas controle e exclusão foram de $4,86 \pm 1,50$ e $4,56 \pm 1,53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente, durante o período estudado. Os valores máximos foram de $8,76 \pm 1,51 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em outubro de 2010 e $7,31 \pm 2,94 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em outubro de 2011, nas parcelas de controle e exclusão, respectivamente. Os valores mínimos foram de $3,23 \pm 1,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na parcela controle em setembro de 2009 e $2,20 \pm 0,68 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na parcela exclusão em novembro de 2009. Os coeficientes de variação para as parcelas de controle e exclusão foram de 32,9% e 37,0%, respectivamente.

As médias mensais para as respirações do solo da parcela controle não foram significativamente diferente da parcela exclusão, ($p=0,50$) quando submetidas ao teste t. Para a ANOVA também não foi constatada diferenças significantes, ($p=0,50$) entre as parcelas.

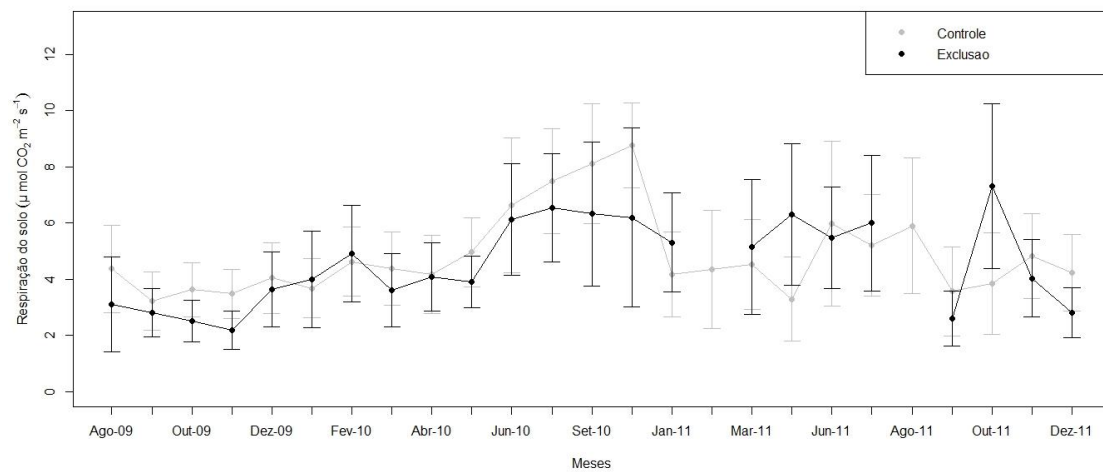


Figura 10 – Médias mensais de respiração do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

A respiração do solo média para ambas as parcelas apresentou valores próximos, com o valor máximo na parcela controle ligeiramente maior em relação à parcela exclusão, enquanto que o valor mínimo na parcela exclusão foi ligeiramente menor em relação à parcela de controle, com amplitudes bem próximas.

Na Tabela 02 temos valores médios de fluxos de CO₂ registrados na Região Amazônica. Em relação aos valores apresentados no trabalho de Silva Junior 2008, o presente trabalho mostra um aumento em cerca 30% para os valores de respiração do solo para ambas as parcelas. Os aumentos nos valores da respiração do solo podem estar associados a um aumento na produção de liteira no ano de 2010 em relação ao ano de 2005. Segundo Matos 2012, o ano de 2010 apresentou valores de folhas e galhos superiores do ano de 2005, em ambas as parcelas, sendo esses dois componentes responsáveis por mais de 70% da liteira total acumulada. O aumento acentuado nos valores de respiração do solo durante o período de junho a outubro de 2010, em ambas as parcelas, pode estar relacionado ao período de maior produção de liteira.

Tabela 02. Estudos de fluxos de CO₂ na Região Amazônica.

| Autor | Local | Fluxos CO ₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) |
|------------------------|---------------------------------------|--|
| Meir et al. (1996) | Reserva Jarú-RO | 5,50 |
| Sotta et al. (2004) | Manaus-AM | 6,40 |
| Salimon et al., (2004) | Rio Branco-AC | 4,86 |
| Dias (2006) | Santarém-PA | 5,64 |
| Sotta et al., (2006) | FLONA Caxiuanã-PA | 3,96 |
| Gonçalves (2009) | FLONA Caxiuanã-PA | 2,84 |
| Silva Junior (2013) | Parcela controle | 3,48 |
| | FLONA Caxiuanã-PA Parcela exclusão | 3,20 |
| Estudo presente | Parcela controle | 4,86 |
| | FLONA Caxiuanã-PA Parcela exclusão | 4,56 |

Fonte: Adaptado de Sotta *et al.*, 2004 e Silva Junior 2008.

Observou-se que durante o período estudado, os valores de respiração do solo na parcela controle ficaram acima dos encontrados na parcela exclusão, com exceções de alguns meses dos períodos chuvosos, onde provavelmente ocorreu na parcela controle a saturação do solo, impedindo a liberação de CO₂ para a atmosfera.

Na parcela exclusão, nos períodos chuvosos, possivelmente houve infiltração de água no solo em lugares próximos aos pontos de leitura, fato este relacionado com a manutenção da estrutura de exclusão (painéis e calhas), devido à queda de galhos, ramos e árvores, indicando que a entrada de água em um solo submetido a uma seca prolongada, há resposta imediata na respiração do solo. Segundo Sotta et al. (2004) a água drenada para o solo força a saída de CO₂ presente no solo para a atmosfera, e por um curto período depois de um evento de precipitação há um acréscimo na concentração de CO₂ na superfície do solo.

Nos meses do período seco, onde o valor de respiração do solo na parcela de exclusão se apresentou acima daqueles observados na parcela controle, possivelmente deve estar associado aos valores de temperatura do solo e ao aumento na produção de liteira. Na Tabela 03 abaixo temos os valores médios dos períodos secos e chuvosos da respiração do solo para as parcelas de controle e exclusão, com seus respectivos coeficientes de variações.

Tabela 03. Médias das respirações do solo.

| Períodos | Parcelas | Respiração do solo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | Coefficiente de variação (%) |
|--------------|----------|--|---------------------------------|
| Seco 2009 | Controle | 3,68 ± 0,42 | 11,51 |
| | Exclusão | 2,66 ± 0,34 | 12,64 |
| Chuvoso 2010 | Controle | 4,31 ± 0,41 | 9,48 |
| | Exclusão | 4,02 ± 0,43 | 10,76 |
| Seco 2010 | Controle | 7,75 ± 0,84 | 10,77 |
| | Exclusão | 6,30 ± 0,16 | 2,51 |
| Chuvoso 2011 | Controle | 4,09 ± 0,55 | 13,34 |
| | Exclusão | 5,59 ± 0,63 | 11,24 |
| Seco 2011 | Controle | 4,89 ± 0,93 | 18,94 |
| | Exclusão | 5,08 ± 1,62 | 31,93 |

Na Figura 11 temos as médias dos períodos secos e chuvosos de respiração do solo para as parcelas controle e exclusão. Observou-se que no período seco de 2009 e chuvoso e seco de 2010, as médias da respiração do solo na parcela controle foram maiores em relação à parcela exclusão. Já para ambos os períodos de 2011 a parcela exclusão apresentou médias acima em relação à parcela controle. Nota-se um aumento em ambas as parcelas no período seco de 2010, provavelmente associado a altas temperaturas do solo e uma maior produção de liteira, o que é bem característico para a região.

As médias dos períodos chuvoso e seco para as respirações do solo da parcela controle não foram significativamente diferente da parcela exclusão, ($p=0,52$) quando submetidas ao teste t. Para a ANOVA também não foi constatada diferenças significantes, ($p=0,35$) entre as parcelas.

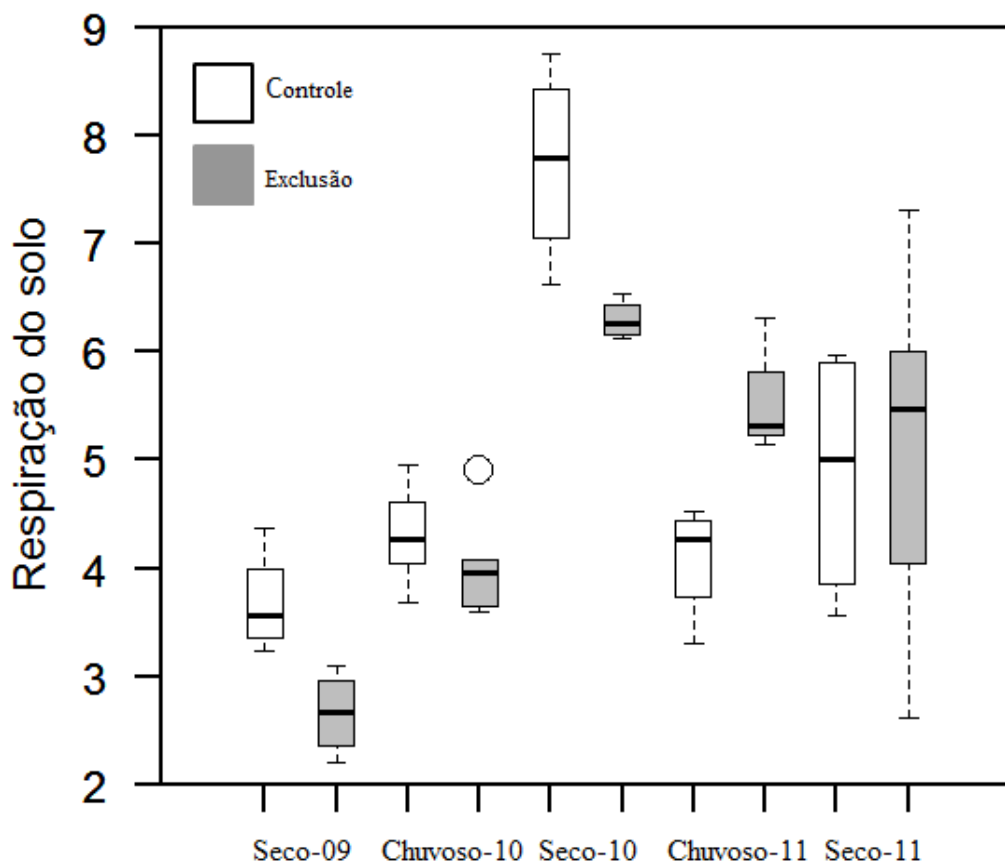


Figura 11 – Médias dos períodos secos e chuvosos de respiração do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

A média do período seco de 2011 da parcela de exclusão apresentou valor elevado, em relação a parcela controle devido mês de outubro ter registrado valores de respiração do solo altos, possivelmente associado a uma maior atividade heterotrófica nos resíduos de matéria orgânica oriundo da mortalidade de árvore, já que é característico do período ter uma maior queda galhos, ramos e árvores associado ao aumento da ação do ventos e a baixa disponibilidade de água no solo.

As atividades microbianas no solo são intensificadas com o aumento da umidade do solo, por conta das chuvas ocorridas no período seco e com a intensificação da decomposição da liteira, gerando um aumento nos valores médios de respiração do solo, em florestas tropicais é característico ter uma maior produção de liteira no período seco (Gonçalves 2009).

Segundo Silva Junior 2008, existe uma correlação fraca entre a respiração do solo e a chuva acumulada de 1, 5 e 10 dias antes da realização das leituras, com $R = 22,5\%$, $R = 23,8\%$ e $R = 18,5\%$, respectivamente. Existe uma correlação moderada entre a respiração do solo e a chuva acumulada de 3 dias, com $R = 43,6\%$

3.2 Temperatura do solo nas parcelas de controle e exclusão

As médias mensais para temperatura do solo para as parcelas de controle e exclusão para o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011 estão ilustradas na Figura 12.

As médias da temperatura do solo nas parcelas controle e exclusão foram de $26,2 \pm 0,86$ e $26,5 \pm 0,72$ °C, respectivamente, durante o período estudado. Os valores máximos foram de $28,2 \pm 0,25$ e $27,9 \pm 0,31$ °C nas parcelas de controle e exclusão, respectivamente, no ano de 2010 em setembro na parcela controle e outubro na parcela exclusão. Os valores mínimos foram de $24,6 \pm 0,13$ °C na parcela controle no mês de fevereiro de 2011 e $25,3 \pm 0,30$ °C na parcela exclusão no mês de março de 2011.

Os coeficientes de variação para as parcelas de controle e exclusão foram de 3,3% e 2,8%, respectivamente. A amplitude térmica na parcela controle foi de 3,7°C e na parcela exclusão foi de 2,6°C, mostrando uma maior homogeneidade da parcela de exclusão devido à estrutura física instalada na parcela.

As médias mensais para a temperatura do solo da parcela controle não foram significativamente diferente da parcela exclusão, ($p=0,21$) quando submetidas ao teste t. Para a ANOVA também não foi constatada diferenças significantes, ($p=0,22$) entre as parcelas.

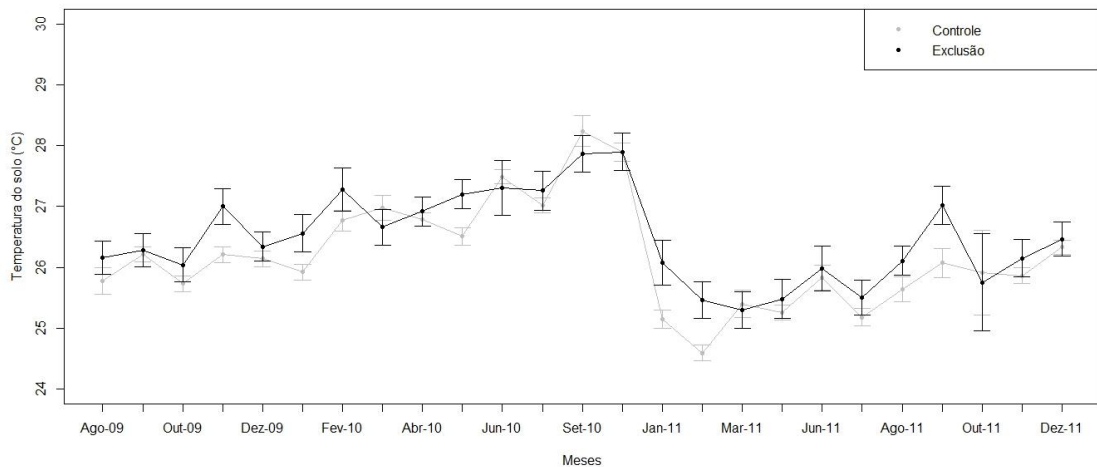


Figura 12 – Médias mensais de temperatura do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

Os valores médios de temperatura do solo segue a sazonalidade da precipitação da região. A parcela controle apresenta valor máximo acima e valor mínimo abaixo dos valores registrados na parcela exclusão. Contudo os valores médios mensais observados na parcela exclusão ficaram acima dos valores da parcela controle, comportamento causado pelo baixo conteúdo de água no solo. A queda brusca que aconteceu entre a passagem do ano de 2010 para 2011 se dá possivelmente pela distribuição normal no regime de precipitação causando uma diminuição nos valores de temperatura do solo devido a um aumento no conteúdo de água no solo.

Na parcela controle observamos um comportamento mais acentuado nos meses chuvosos e secos enquanto que na parcela exclusão a amplitude térmica foi menor, indicando diminuição nas variações, havendo tendência para uma maior homogeneidade por conta da exclusão de água na parcela. No ano de 2010 essa variação foi menor, provavelmente influenciado pelo fenômeno El niño. Podemos notar que nos meses onde há maiores valores médios de temperatura do solo registrados, há também os maiores valores de respiração do solo, como no trimestre agosto, setembro e outubro de 2010.

Na Tabela 04 temos alguns valores médios de temperatura do solo em estudos realizados na Região Amazônica. Os valores encontrados no presente estudo estão próximos dos valores obtidos por outros autores.

Tabela 04. Valores médios de temperatura do solo.

| Autor | Local | Temperatura do solo (°C) |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Souza(2004) | Manaus-AM | 24,5 |
| Goulden et al.(2004) | Tapajós-PA | 26,0 |
| Sotta et al. (2006) | FLONA Caxiuanã-PA | 24,1 ± 0,13 |
| Valentini et al. (2008) | Sinop-MT | 24,0 |
| Gonçalves (2009) | FLONA Caxiuanã-PA | 25,7 |
| Silva Junior (2013) | Parcela controle | 25,6 ± 0,4 |
| | FLONA Caxiuanã-PA Parcela exclusão | 25,7 ± 0,5 |

Fonte: Adaptado de Zanchi et al., 2012.

Segundo Silva Junior (2013) as relações de dependências entre as médias mensais de respiração do solo com a temperatura do solo das parcelas controle e exclusão são fracas, em torno de $R= 30,0\%$. Contudo existe uma correlação entre as variáveis como mostra estudos feitos por Meier et al., (1996), Sotta et al., (2004), Coelho (2005), Gonçalves (2009) onde foi observado que com o aumento da temperatura do solo há um aumento na respiração do solo, evento também observado no presente trabalho.

As médias dos períodos secos e chuvosos da temperatura do solo para as parcelas de controle e exclusão para o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011 estão ilustradas na Figura 13.

As médias dos períodos chuvoso e seco para temperatura do solo da parcela controle não foram significativamente diferente da parcela exclusão, ($p=0,57$) quando submetidas ao teste t. Para a ANOVA também não foi constatada diferenças significantes, ($p=0,98$) entre as parcelas.

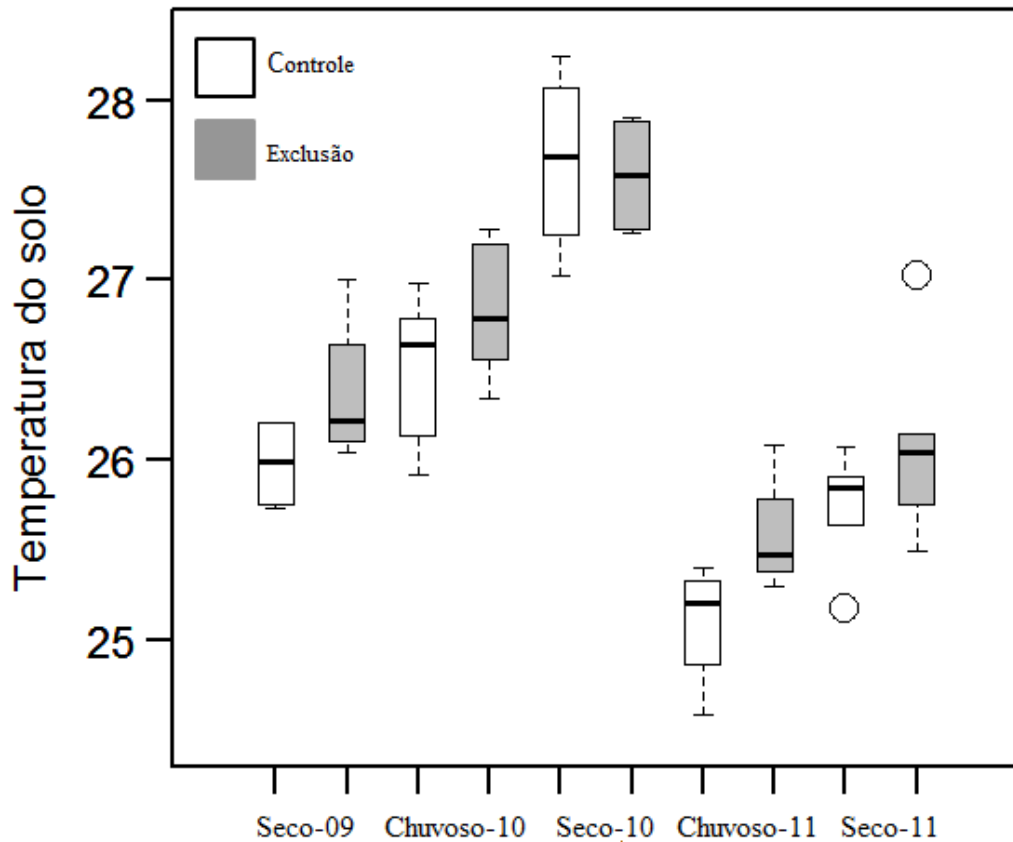


Figura 13 – Médias dos períodos secos e chuvosos de temperatura do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

Na Tabela 05 abaixo têm as médias dos períodos secos e chuvosos da temperatura do solo para as parcelas de controle e exclusão com seus respectivos coeficientes de variações. Gonçalves (2009) encontrou um valor médio para temperatura do solo no período chuvoso de $26,1 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ e para o período seco de $25,2 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Silva Junior et al. (2013) encontrou valores máximos de temperatura do solo no mês de janeiro e fevereiro para as parcelas controle e exclusão, respectivamente e menores valores no mês de julho para ambas as parcelas, inversamente encontrados no estudo presente, porém temos que ressaltar que o ano de 2005, período onde Silva Junior et al. (2013) realizou seu estudo, o fenômeno El niño estava atuante. O regime térmico do solo sofre influencia de fenômenos El niño e os valores da temperatura do solo, em anos que o fenômeno esta atuante, apresenta valores superiores dos anos que não há fenômeno Santos et al. (2013).

Tabela 05. Valores médios de temperatura do solo.

| Períodos | Parcelas | Temperatura do solo (°C) | Coefficiente de variação (%) |
|--------------|----------|-----------------------------|---------------------------------|
| Seco 2009 | Controle | 25,9 ± 0,23 | 0,88 |
| | Exclusão | 26,4 ± 0,37 | 1,41 |
| Chuvoso 2010 | Controle | 26,7 ± 0,52 | 1,96 |
| | Exclusão | 26,8 ± 0,33 | 1,25 |
| Seco 2010 | Controle | 27,4 ± 0,68 | 2,50 |
| | Exclusão | 27,6 ± 0,30 | 1,08 |
| Chuvoso 2011 | Controle | 25,1 ± 0,31 | 1,23 |
| | Exclusão | 25,9 ± 0,29 | 1,15 |
| Seco 2011 | Controle | 25,8 ± 0,29 | 1,11 |
| | Exclusão | 26,1 ± 0,47 | 1,81 |

Observou-se que as médias da parcela exclusão se mantem sempre acima em relação à parcela controle, devido à situação de estresse hídrico que se encontra a parcela exclusão. No ano de 2010 para ambas os períodos a diferença entre as duas parcelas foi menor devido à redução da precipitação ocasionada pela atuação do fenômeno atmosférico El niño, classificado com intensidade fraca segundo CPTEC. Segundo Lewis et al. (2013), todo ano de 2010 apresentou uma redução no regime de chuva e no seu período seco houveram semelhanças com a grande seca de 2005.

A temperatura do solo tem uma influencia maior na respiração do solo em uma variação temporal de curto prazo, em ciclos diurnos sempre tem uma resposta à variação da temperatura do solo (Sotta et at. 2004). Gonçalves (2009) encontrou uma correlação fraca entre as variáveis, temperatura do solo e respiração do solo $R^2 = 0,25$, indicando que outros fatores estariam influenciando nas taxas de respiração do solo. Silva Junior et al. (2013) obteve correlações fracas para parcela controle, $R = 30\%$ e moderada para parcela exclusão, $R = 53,8\%$, possivelmente devido a baixa variabilidade da temperatura do solo durante do ano.

Estudo realizado em floresta de transição na Amazônia realizado por Pinto Junior et al. (2009) constatou uma correlação fraca, $R^2 = 0,31$, atribuindo a baixa correlação também a pequena variabilidade da temperatura do solo.

3.3 Umidade do solo nas parcelas de controle e exclusão

As médias mensais para umidade do solo para as parcelas de controle e exclusão para o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011 estão ilustradas na Figura 14.

As médias da umidade do solo nas parcelas controle e exclusão foram de $12 \pm 4,30$ e $7 \pm 2,15\%$, respectivamente, durante o período estudado. Os valores máximos foram de $19 \pm 2,5$ e $10 \pm 2,9\%$ nas parcelas de controle e exclusão, respectivamente e valores mínimos de $6 \pm 1,2\%$ na parcela controle e $3 \pm 0,2\%$ na parcela exclusão. Os coeficientes de variação para as parcelas de controle e exclusão foram de 13,9% e 29,8%, respectivamente.

As médias mensais para a umidade do solo da parcela controle foram significativamente diferentes da parcela exclusão, ($p=0,00001$) quando submetidas ao teste t, o que significa que estatisticamente os valores encontrados nas parcelas quando comparados são distintos. Para a ANOVA foi constatada diferenças significantes, ($p=0,0001$) entre as parcelas, isso significa que as variações existentes dentro e entre as parcelas são estatisticamente distintas.

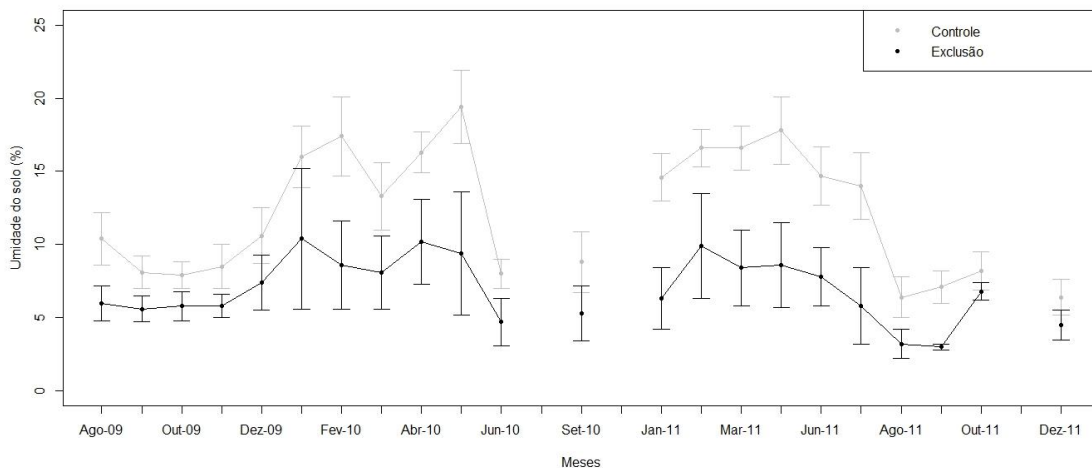


Figura 14 – Médias mensais de umidade do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

Estudo realizado por Gonçalves (2009) para a FLONA de Caxiuanã obteve registros médios de umidade do solo de $25,1 \pm 7,9\%$. Silva Junior et al. (2013) encontrou valores médios de umidade do solo de $15,6 \pm 9,2\%$ e $9,5 \pm 3,4\%$ para as parcelas controle e exclusão respectivamente com um coeficiente de variação para a parcela controle de 59% e para parcela de exclusão de 36%, também observou a correlação da umidade do solo com a respiração do solo para ambas as parcelas, e para parcela controle não foram significantes ($R=12,5$), já na parcela exclusão o valor encontrado foi de $R=49,7$, mostrando a importância do conteúdo de água no solo para parcela submetida à seca prolongada.

Na parcela controle observou-se a sazonalidade nos valores de umidade do solo, aumentando nos períodos chuvosos e diminuindo nos períodos menos chuvosos em contrapartida, na parcela exclusão não há essa configuração, apenas pequenas variações. Em ambas as parcelas os valores máximos ocorreram em meses do período chuvoso e os valores mínimos em meses do período seco. Segundo Santos et al. (2011) em anos de ocorrência de fenômeno El Niño a umidade do solo registra menores valores.

Segundo Gonçalves 2009, há uma relação inversa na variação diária entre a respiração do solo e a umidade do solo. No presente estudo também é possível notar essa relação inversa, porém melhor definida na parcela controle.

As médias dos períodos chuvoso e seco da umidade do solo para as parcelas de controle e exclusão para o período de agosto de 2009 a dezembro de 2011 estão ilustradas na Figura 15.

As médias dos períodos para a umidade do solo da parcela controle foram significativamente diferentes da parcela exclusão, ($p=0,01$) quando submetidas ao teste t, o que significa que estatisticamente os valores encontrados nas parcelas quando comparados são distintos. Para a ANOVA foi constatada diferenças significativas, ($p < 0,05$) do período chuvoso da parcela controle em relação aos períodos chuvoso e seco da parcela exclusão.

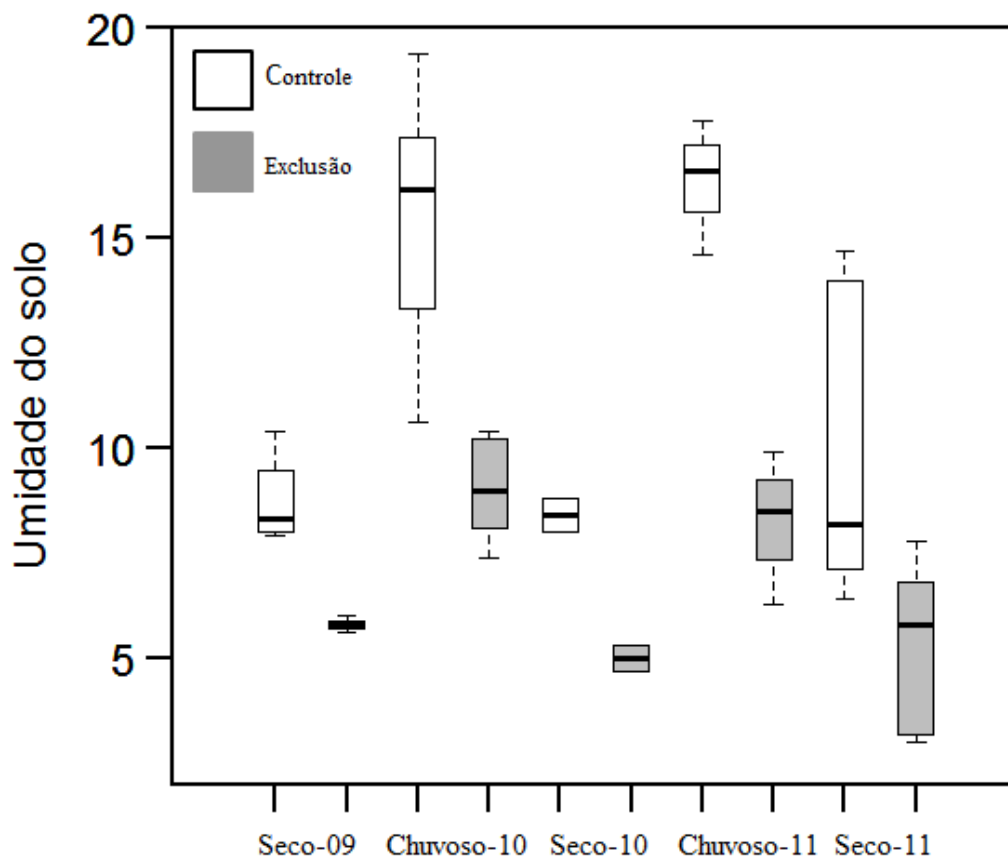


Figura 15 – Médias dos pontos de umidade do solo para as parcelas controle e exclusão no período de agosto de 2009 a dezembro de 2011.

As médias de umidade do solo dos períodos na parcela controle apresentaram valores sempre acima em comparação a parcela exclusão, comportamento esperado, já que a parcela exclusão está submetida a condições de deficiência hídrica, logo se observou apenas uma ligeira variação nos valores de umidade do solo, não caracterizando padrão de sazonalidade. Para a parcela exclusão temos uma baixa variação nas médias para os períodos chuvoso e seco, demonstrando a eficiência da estrutura física presente na parcela e também observamos para os períodos secos, com exceção do ano de 2011, baixos valores nos desvios padrões, caracterizando uma maior homogeneidade da umidade do solo nos períodos seco. O período seco de 2011 não demonstrou essa homogeneidade, possivelmente por ter registrado precipitação acima do normal.

Na Tabela 06 temos os valores médios de umidade do solo para os períodos estudados. Observando os valores de coeficientes de variação para o período chuvoso de 2010 podemos supor que a redução no regime de precipitação causou uma maior variância na parcela controle, já que no período chuvoso de 2011 os dados mostraram coeficientes de variação menores. Esses padrões de comportamento são difíceis de notar na parcela exclusão por se tratar de uma parcela experimental, de tratamento.

Tabela 06 – Valores médios de umidade do solo para os períodos.

| Períodos | Parcelas | Umidade do solo (%) | Coefficiente de variação (%) |
|--------------|----------|------------------------|---------------------------------|
| Seco 2009 | Controle | 8,73 ± 0,98 | 11,28 |
| | Exclusão | 5,80 ± 0,16 | 2,72 |
| Chuvoso 2010 | Controle | 15,49 ± 2,84 | 18,45 |
| | Exclusão | 9,01 ± 1,10 | 12,23 |
| Seco 2010 | Controle | 8,36 ± 0,40 | 4,78 |
| | Exclusão | 5,46 ± 0,74 | 13,55 |
| Chuvoso 2011 | Controle | 16,39 ± 1,18 | 7,17 |
| | Exclusão | 8,29 ± 1,30 | 15,71 |
| Seco 2011 | Controle | 10,06 ± 3,53 | 16,15 |
| | Exclusão | 5,32 ± 1,91 | 24,10 |

3.4 Regressões lineares simples e múltiplas

Nas Figuras 16 temos as regressões lineares simples para a parcela controle. Foi analisada separadamente a dependência da respiração do solo em relação à temperatura do solo e umidade do solo.

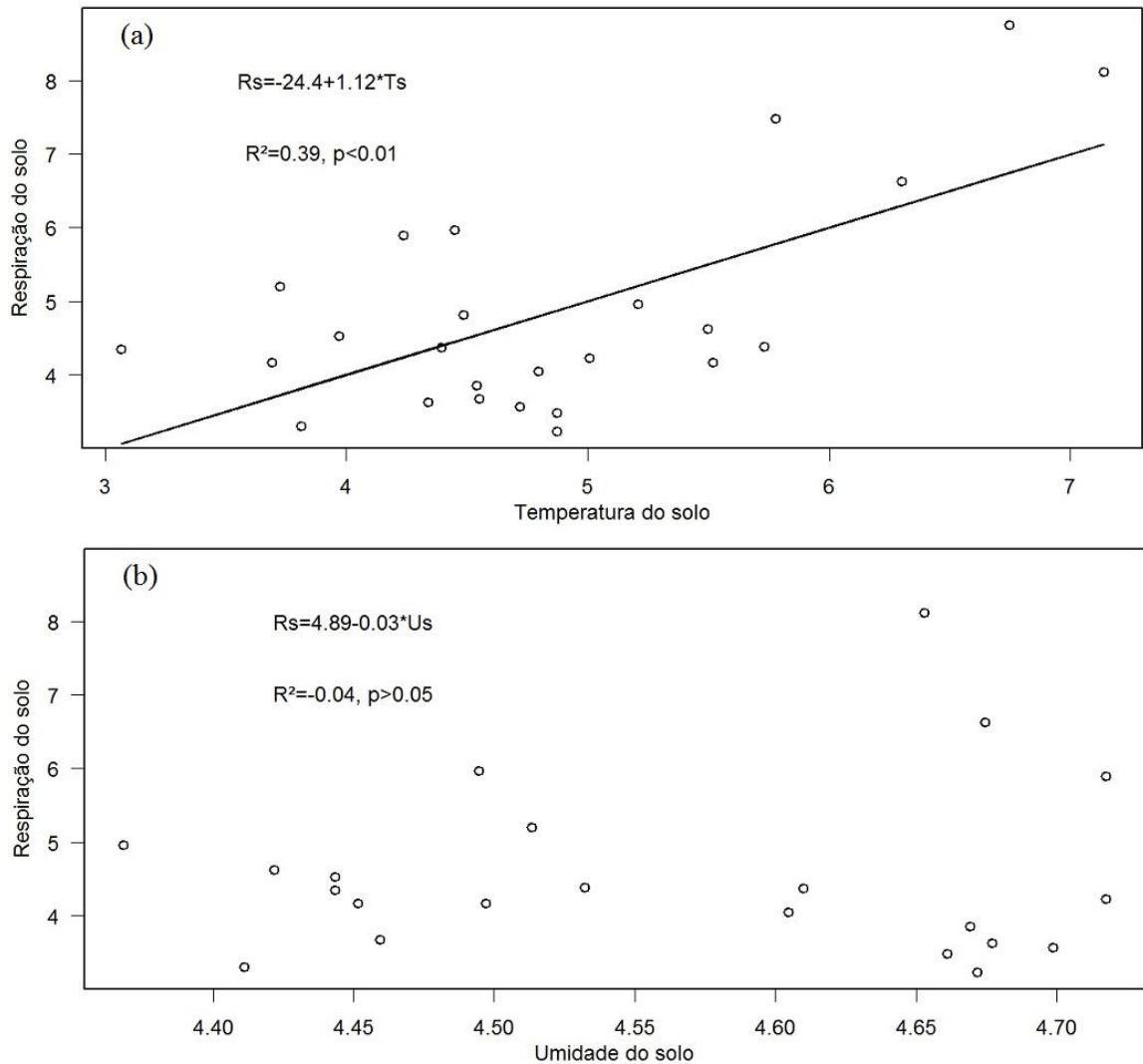


Figura 16 – Regressão linear simples para parcela controle: (a) relação entre temperatura do solo e respiração do solo, (b) relação entre umidade do solo e respiração do solo.

Na relação temperatura do solo e respiração do solo o $R^2 = 0,39$ mostrou uma correlação fraca, indicando que a temperatura do solo exerce uma baixa influência sobre a respiração do solo. A umidade do solo não demonstrou exercer influência sobre a respiração do solo, com um coeficiente de determinação negativo e uma grande dispersão dos pontos associada a aleatoriedade, não podendo ser aplicada a reta de regressão.

Segundo Gonçalves et al. (2009) não há correlação significativas entre a temperatura do solo e respiração do solo. Silva Junior et al. (2013) encontrou uma correlação fraca entre as variáveis temperatura e umidade do solo com a respiração do solo para a parcela controle. Então podemos afirmar que segundo os dados utilizados no presente trabalho, a temperatura do solo exerce uma influência fraca sobre a respiração do solo, já a umidade do solo não foi possível detectar nenhuma influência, indicando que outro fator pode estar exercendo influência sobre a respiração do solo.

Nas Figuras 17 temos as regressões lineares simples para a parcela exclusão. Foi analisada separadamente a dependência da respiração do solo em relação à temperatura do solo e umidade do solo.

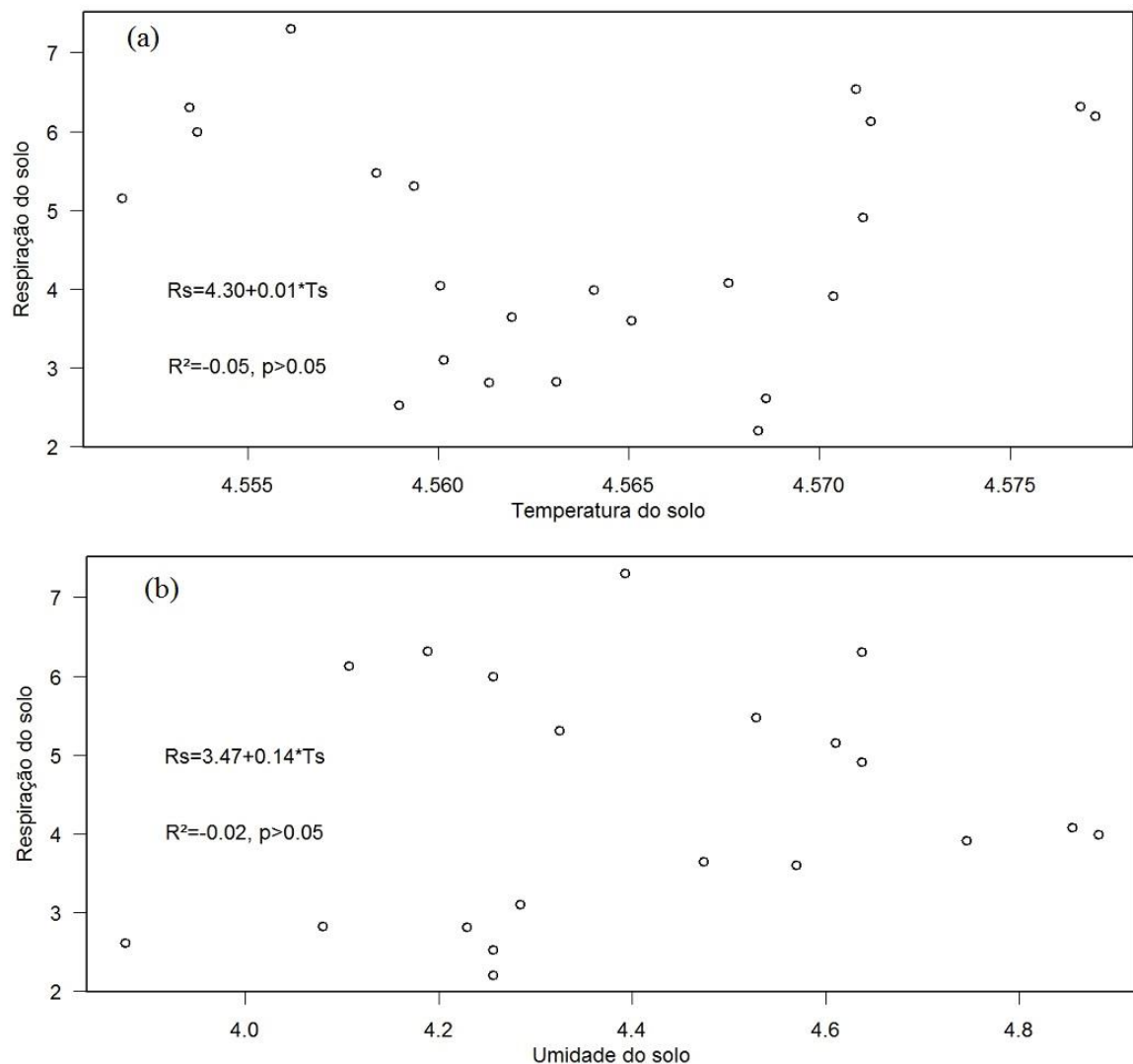


Figura 17 – Regressão linear simples para parcela exclusão: (a) relação entre a temperatura do solo e respiração do solo, (b) relação entre umidade do solo e respiração do solo.

Em ambas as regressões não foram possíveis verificar a influência da temperatura e da umidade do solo sobre a respiração do solo. Silva Junior et al. (2013) encontrou uma correlação moderada entre as variáveis temperatura e umidade do solo e respiração do solo para a parcela controle, indicando que em longo prazo a deficiência hídrica está causando uma alteração nas correlações de dependência da respiração do solo na parcela exclusão, possivelmente devido à baixa variação dos valores médios de temperatura e umidade do solo, podendo haver outros fatores exercendo influência sobre a respiração do solo.

Nas Figuras 18 e 19 temos as regressões lineares múltiplas para as parcelas controle e exclusão, respectivamente.

Para a parcela controle temos um $R^2 = 0,28$ e $R = 0,08\%$ mostrando uma dependência imperceptível da respiração do solo em relação à temperatura e umidade do solo, possivelmente devido à umidade do solo ter um comportamento inverso em relação à respiração do solo, indicando que possui outros fatores que influenciam na variação da respiração do solo.

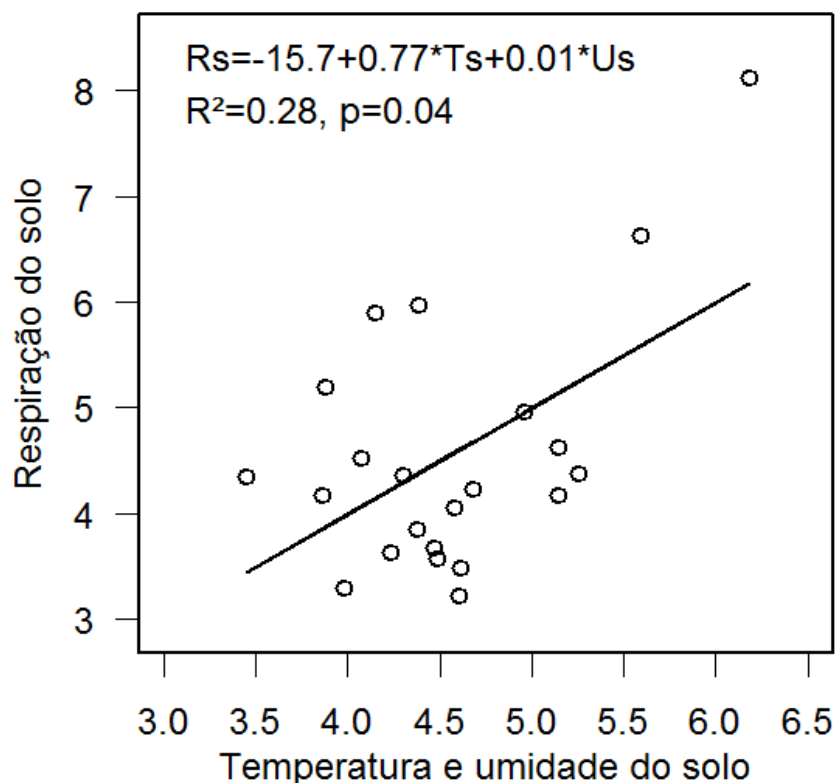


Figura 18 – Regressão linear múltipla entre as médias da temperatura e umidade do solo e a respiração do solo da parcela controle.

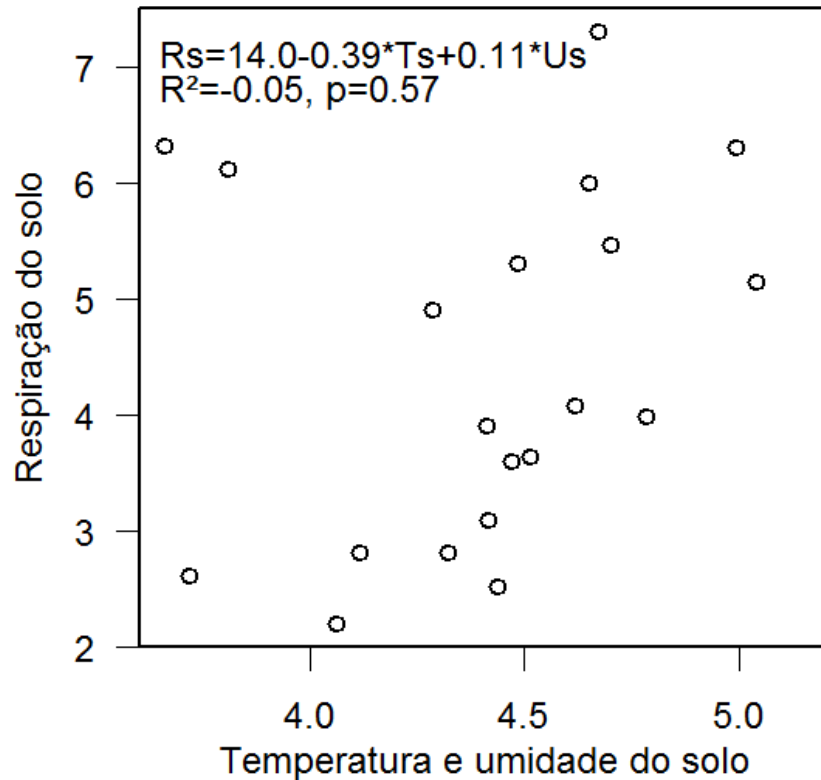


Figura 19 – Regressão linear múltipla entre as médias da temperatura e umidade do solo e a respiração do solo da parcela exclusão.

Para parcela exclusão temos um $R^2 = -0,05$ e $R = 0,003\%$ mostrando que não houve dependência entre as variáveis, impossibilitando plotar a reta de regressão. Possivelmente as existentes alterações nos valores de temperatura e umidade do solo, mesmo que não seja diferente estatisticamente, esta deixando de exercer, ainda que fraca, uma influência na respiração do solo, podendo haver o aumento de algum outro fator nas variações da respiração do solo. Em ambas as parcelas não foram possíveis explicar as variações de respiração do solo a partir da temperatura e umidade do solo, possivelmente devido a respiração do solo ter comportamento diferente, para a temperatura do solo é uma resposta direta e para a umidade do solo é inversa, mas ainda assim, podemos afirmar que existe uma fraca associação entre as variáveis.

Estudo realizado por Balogh et al. (2011) encontrou um bom resultado modelando a respiração do solo utilizando temperatura e umidade do solo em diferentes tipos de solo, no entanto, as variáveis apresentam oscilações bem maiores que seu comportamento em florestas tropicais.

3.5 Respiração dos componentes

As médias dos períodos chuvoso e seco da respiração dos componentes para as parcelas controle estão ilustradas na Figura 20.

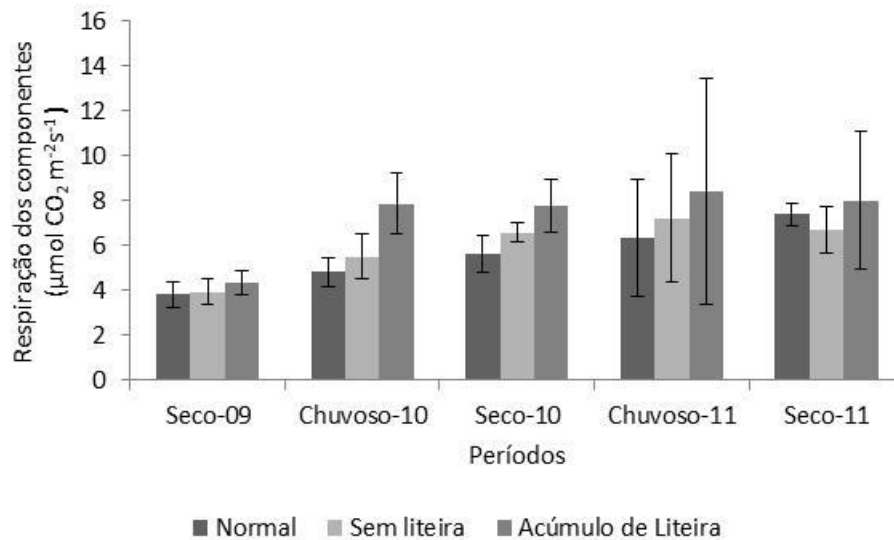


Figura 20 – Médias da respiração dos componentes da parcela controle.

Observamos que durante todo o período estudado, o ponto que possui acúmulo de liteira apresentou os maiores valores. Para os pontos de acúmulo de liteira podemos identificar uma pequena sazonalidade, onde nos períodos chuvosos apresentou valores ligeiramente maiores em relação aos períodos secos, possivelmente por haver uma maior atividade de micro-organismos, responsáveis pela respiração heterotrófica, comportamento inverso ao ponto em condição normal, onde temos valores maiores nos períodos seco provavelmente associado ao aumento da temperatura do solo. Os pontos sem a presença de liteira registrou valores menores do que onde há acúmulo de liteira, porém maiores que os pontos em condições normais, demonstrando a contribuição da respiração autotrófica.

A Tabela 07 abaixo têm os valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela controle. Comparando os valores entre os estudos podemos notar uma redução significativa nos valores do estudo presente, é possível que essa diferença seja explicada pelo fato que o estudo presente utilizou uma amostragem maior para os períodos. Observamos que os pontos com a presença de liteira não variou entre os períodos, já nos pontos sem a presença de liteira houve uma aumento no período chuvoso, possivelmente influenciado pela infiltração de água no solo, forçando a saída de CO₂ do solo para a

atmosfera, com a presença de liteira não notamos essa influencia devido à liteira agir como uma camada de proteção do solo.

Tabela 07. Valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela controle.

| Autor | Período | | Parcela Controle ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
|---------------------|---------|-------------|--|
| Silva Junior (2008) | Seco | Com liteira | 10,4 \pm 1,6 |
| | | Sem liteira | 9,4 \pm 1,6 |
| | Chuvoso | Com liteira | 7,6 \pm 1,8 |
| | | Sem liteira | 6,9 \pm 1,5 |
| Estudo presente | Seco | Com liteira | 5,6 \pm 1,8 |
| | | Sem liteira | 5,7 \pm 1,6 |
| | Chuvoso | Com liteira | 5,6 \pm 1,1 |
| | | Sem liteira | 6,4 \pm 1,2 |

As médias dos períodos chuvoso e seco da respiração dos componentes para as parcelas exclusão estão ilustradas na Figura 21.

Podemos observar que a deficiência hídrica tem efeito principalmente nos pontos de acúmulo de liteira, que ficou próximo aos valores dos pontos em condições normais, sugerindo uma diminuição das ações dos micro-organismos. Pontos sem a presença de liteira também registraram uma redução, o que pode estar associado a possível alteração nos agentes autotróficos presentes no solo, devido ao baixo conteúdo de água no solo. A parcela não apresentou nenhum padrão característico em relação aos períodos estudados.

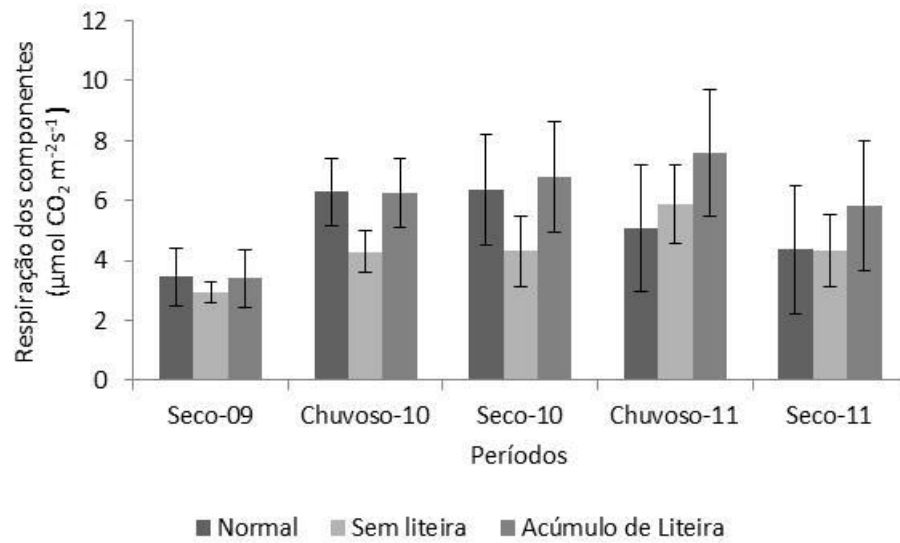


Figura 21 – Médias da respiração dos componentes da parcela controle.

Os períodos chuvoso e seco de 2010 tiveram comportamentos bem parecidos para as três condições de respiração do solo, possivelmente sofrendo a influência do fenômeno El Niño, que pelo fato da redução das precipitações no período chuvoso, causou uma redução nas diferenças entre os dois períodos deste ano.

Na Tabela 08 temos os valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela exclusão. Para o período seco observou-se uma redução nos valores da respiração do solo, ao passo que no período chuvoso os valores foram próximos devido a estrutura presente na parcela. A deficiência hídrica tem um efeito nos agentes heterotróficos e autotróficos, causando uma redução nos valores da respiração do solo. O aumento da temperatura do solo e a redução de conteúdo de água no solo interferem na presença de micro-organismos, causando uma redução na respiração heterotrófica e a indisponibilidade de água no solo causa a redução na respiração autotrófica.

Tabela08. Valores de respiração do solo com e sem a presença de liteira para a parcela exclusão.

| Autor | Período | Parcela Exclusão ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | |
|---------------------|---------|--|---------------|
| Silva Junior (2008) | Seco | Com liteira | $8,8 \pm 2,1$ |
| | | Sem liteira | $8,6 \pm 1,7$ |
| | Chuvoso | Com liteira | $4,8 \pm 1,3$ |
| | | Sem liteira | $4,7 \pm 1,2$ |
| Estudo presente | Seco | Com liteira | $4,7 \pm 1,5$ |
| | | Sem liteira | $3,8 \pm 0,8$ |
| | Chuvoso | Com liteira | $5,7 \pm 0,9$ |
| | | Sem liteira | $5,1 \pm 1,1$ |

4. Conclusão

A respiração do solo nas parcelas controle e exclusão não apresentaram diferenças estatísticas nas médias mensais e nas médias dos períodos entre as parcelas, sofrendo fraca influencia da variável temperatura do solo nas parcelas controle. Apesar dessa fraca influência, apresentou uma sazonalidade bem caracterizada, tendo seus maiores valores ocorrida nos períodos secos, enquanto que os menores em períodos chuvosos. É provável que outros fatores ou variáveis exerçam uma maior influencia sobre a respiração do solo.

As respirações do solo em diferentes proporções de liteira mostrou um comportamento sazonal na parcela controle já na parcela exclusão não há um comportamento padrão. Os locais com acúmulo de liteira apresentam valores maiores de respiração do solo em ambas as parcelas, embora a parcela exclusão apresente uma redução nos valores quanto comparados à parcela controle devido à baixa quantidade de micro-organismo presente por conta da deficiência hídrica da parcela e a diminuição da respiração do solo sem a presença de liteira na parcela exclusão pode indicar uma diminuição na presença de fungos e bactérias no solo e raízes.

A temperatura do solo não mostrou diferenças estatísticas nas médias mensais e nas médias dos períodos entre as parcelas controle e exclusão registrando valor médio ligeiramente maior na parcela exclusão. Para o período estudado não houve um comportamento sazonal bem caracterizado em ambas as parcelas, provavelmente devido a um fenômeno El Niño que atuou no ano de 2010. Mostrou uma pequena variação nas parcelas e entre as parcelas. Na parcela controle apresentou fraca influência nos valores de respiração do solo e para parcela exclusão não foi encontrado nenhuma relação entre as variáveis. Apresentou associação direta com a respiração do solo. Registrou valores semelhantes a outros estudos realizados na Região Amazônica.

A umidade do solo mostrou diferenças estatísticas entre as parcelas para as médias mensais e médias para os períodos. O comportamento sazonal ficou bem caracterizado na parcela controle, já na parcela exclusão houve ligeiras variações. Devido à parcela exclusão está submetida a uma seca prolongada artificialmente, os valores médios de umidade do solo foi menor em relação à parcela controle. Registrou uma maior homogeneidade nos períodos secos. Não teve influência na variação da respiração do solo em ambas as parcelas. Apresentou associação inversa com a respiração do solo.

O longo período de seca artificial em que a parcela exclusão está submetida possivelmente pode ter alterado as relações entre a temperatura e umidade do solo com a respiração do solo.

5. Referências

- ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT B. et al. comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, v. 107, Doi: 10.1029/2001Jd000676, 2002.
- BALOGH, J.; PINTÉR, K.; FÓTI Sz.; CSERHALMI, D.; PAPP, M.; NAGY, Z. Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands. *Soil Biology & Biochemistry* 43, p. 1006 – 1013, 2011.
- BUCHMANN, N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in picea abies stands. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 32, p. 1625 – 1635, 2000.
- CHAMBERS, J.Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L.C.; CRISPIM, B. F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; ARAUJO, A.C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S. E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Applications*, Washington, v.14, n.4, p. S72-S88, Aug. 2004.
- COELHO, M.M. Estudo da respiração do solo em floresta de transição do sudoeste da Amazônia. 46p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.
- COSTA, M. H.; FOLEY, J. A.; Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations, *Journal of Climate*, v. 13, p. 18-34, 2000.
- COSTA, A.C.L.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P.H.L.; COSTA, R.F.; SILVA JUNIOR, J. A.; MALHI, Y. S.; ARAGÃO, L.E.O.C.; MEIR, P. Estudos hidrometeorológicos em uma floresta tropical chuvosa na Amazônia – PROJETO ESECAFLOR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 283-290, 2006.
- COSTA, R.F.; SILVA, V.P.R.; RUIVO, M.L.P.; MEIR, P.; COSTA, A.C.L.; MALHI, Y.S.; BRAGA, A.P.; GONÇALVES, P.H.L.; SILVA JUNIOR, J.A.; GRACE, J. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.11, n.2, p.180-189, 2007.

COSTA, A.C.L.; ALMEIDA, S.S.; CARVALHO, C.R.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, R.F.; SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, M.C.; TANAKA, B.T.; FISHER, R.A.; SOTTA, E.D.; OLIVEIRA, L.L.; GONÇALVES, P.H.L.; BRAGA, A. P.; BARRETO, P.N. Experimento Esecaflo-LBA em Caxiuanã. p. 45 – 90. In: Lisboa, P.L.B. Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém: MPEG, 2009.

DA COSTA, A. C. L.; METCALFE, D. B.; DOUGHTY, C. E.; DE OLIVEIRA, A. A. R.; NETO, G. F. C.; DA COSTA, M. C.; SILVA JUNIOR, J. A.; ARAGÃO, L. E.O.C.; ALMEIDA, S. ; GALBRAITH, D. R. ; ROWLAND, L. M. ; MEIR, P.; MALHI, Y. Ecosystem respiration and net primary productivity after 8-10 years of experimental through-fall reduction in an eastern Amazon forest. *Plant Ecology & Diversity (Print)*, v. 7, p. 1-18, 2013.

CRAMER, W.; BONDEAU, A.; WOODWARD, F. I.; PRENTICE, I.C.; BETTS, R. A.; BROVKIN, V.; COX, P. M.; FISHER, V.; FOLEY, J. A.; FRIEND, A. D.; KUCHARIK, C.; LOMAS, M. R.; RAMANKUTTY, N.; SITCH, S.; SMITH, B.; WHITE, A.; YOUNG-MOLLING, C. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, v. 7, p. 357-373, 2001.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; BOLSTAD, P.; CLARK, D.A.; CURTIS, P.S.; ELLSWORTH, D. S.; HANSON, P. J.; LAW, B. E.; LUO, Y.; PREGITZER, K.S.; RANDOLPH, J.C.; ZAK, D. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, San Andreans, v.113, n.1/4, p.39-51, Dec. 2002.

FOLEY, J. A.; PRENTICE, I.C.; RAMANKUTTY, N., LEVIS, S.; POLLARD, D.; SITCH, S.; HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of lands surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 10, p. 603-628, 1996.

GONÇALVES, P. H. L. Influência de variáveis biofísicas nas taxas de respirações de solos em floresta tropical da Amazônia oriental, 2009. 54p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG. 2009.

- LISBOA, P. L. B.; SILVA, A. S. L.; ALMEIDA, S.S. Florística e estrutura dos ambientes. Caxiuanã. Museu Paraense Emílio Goeldi, 1977, p. 163-193. Belém, 1997.
- LISBOA, P. L. B. Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém: MPEG, 672 p. 2009.
- LEWIS S.L.; BRANDO P.M.; PHILLIPS O.L; VAN DER HEIJDEN G.M.F.; NEPSTAD, D. 2011. The 2010 Amazon drought. *Science* 331:554.
- MATOS, R. M. M.; COSTA, A. C. L. Efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na flona Caxiuanã-Pará. *Rev. Biologia Neotropical*. 9(2): 24-36. 2012.
- MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22: p. 715-740. 1999.
- MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.C.; LLOYD, J. Soil respiration in a rainforest in Amazônia and cerrado in central Brazil. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. L. (Eds.). *Amazonian deforestation and climate*. Wiley, Chichester. p. 319-330, 1996.
- METCALFE, D.B., MEIR, P., ARAGÃO, L.E.O.C., MALHI, Y.; da COSTA, A. C. L.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P. H. L.; de ATHAYDES, J.; de ALMEIDA, S. S.; WILLIAMS, M. Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 112 (G04001), 2007.
- MORAES, J. C.; COSTA, J. P. R.; ROCHA, E. J. P.; SILVA, I. M. O. 1997. Estudos hidrometeorológicos na bacia do rio Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã*. Vol. 1. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará. p. 85-95.
- MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.C.; LLOYD, J. Soil respiration in a rainforest in Amazônia and cerrado in central Brazil. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R. L. (Eds.). *Amazonian deforestation and climate*. Wiley, Chichester. p. 319-330, 1996.

MEIR, P.; COSTA, A.C.L.; COSTA, R. F. DA.; FISHER, R. A.; SOTTA, E.D.; VALE, R. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; ALMEIDA, S.S.; RUIVO, M.L.P.; COSTA, J. M. N.; CARVALHO, C.; MAROCO, J.; CHAVES, M.; WILLIAMS, M.; MALHI, Y.; GRACE, J. Effects of experimental drought on carbon cycling in an Eastern Amazon rain forest. In: Science Team Business Meeting. 7, 2003, Fortaleza. Proceedings... Results of Ecological Studies of LBA. Fortaleza: LBA/ECO, 2003, CD-Rom.

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, p. 957-988, 1991.

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

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration, 1980-94. *Global Change Biology*, v. 8, p. 800-812, 2002.

RAYMENT, M.; JARVIS, P. G. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian Boreal Forest. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 32, p. 35-45, 2000.

RUIVO, M.L.P.; PEREIRA, S.B.; BUSSETTI, E.P.C.; COSTA, R. F. DA.; QUANZ, B.; NAGAISHI, T. Y.; OLIVEIRA, P. J.; MEIR, P.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L. Propriedades do solo e fluxos de CO₂ em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLO. In: *Contribuições a geologia da Amazônia, (CGA-3)*, Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, v.3, p.291-299, 2002.

RUIVO, M. L. P., CUNHA, E. S. Mineral and organic components in archaeological black earth and yellow latosol in Caxiuanã, Amazon, Brazil. In: Tiezzi E, Brebbia Ca, Uso JI (Eds) *Ecosystems And Sustainable Development*, Witt Press, Southhampton, Uk, pp.1113-1121, 2003.

SALIMON, C. I.; DAVIDSON, E. A.; VICTORIA, R. L.; MELO, A. W. F. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. *Global Change Biology*. v.10, p.833-843, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00776.x, 2004.

SANTOS, S. R. Q.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N.; NUNES, H. G. G. C.; RODRIGUES, R. S.; CAMPOS, T. L. O. B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de el niño e la niña, Caxiuanã-PA: estudo de caso. Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.3, 367 - 374, 2011.

SAVAGE, K.; DAVIDSON, E. Interannual variation of soil respiration in two New England Forests. Global Biogeochemical Cycles, v. 15, p. 337-350, 2001.

SCHLESINGER, W.; ANDREWS, J. Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry, v. 48, p. 7-20, 2000.

SCOTT, R. L.; EDWARDS, E. A.; SHUTTLEWORTH, W. J.; HUXMAN, T. E.; WATTS, C.; GOODRICH, D. C.; Interannual and seasonal variation in fluxes of water and carbon dioxide from a riparian woodland ecosystem. Agricultural & Forest Meteorology, v. 122, p. 65-84, 2004.

SHUKLA, J.; NOBRE, C. A.; SELLERS, P.; Amazon deforestation and climate change. Science, v. 247, p. 1322-1325, 1990.

SILVA JUNIOR, J. A. Efeitos da exclusão da chuva no fluxo de CO₂ do solo na floresta nacional de Caxiuanã, Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande –UFCG, Campina Grande, PB, 80p.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; AZEVEDO, P. V.; COSTA, R. F.; METCALFE, D. B.; GONÇALVES, P. H. L.; BRAGA, A. P.; MALHI, Y. S.; ARAGÃO, L. E. O. EC.; MEIR, P. Fluxos de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento ESECAFLOR/LBA. Revista Brasileira de Meteorologia, v.28, n.1, 85 – 94, 2013.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J. D. Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in a mature spruce forest in southern Germany. Soil Biology & Biochemistry, v. 35, p. 1467-1483, 2003.

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

VIANA, J.S.; ALMEIDA, S.S.; CONCEIÇÃO, C.; FERREIRA, E.; ALVES, N.; SILVA, R. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de Terra-Firme e Igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. In: Seminário de 10 anos de atividades da ECFPn, Caxiuanã, 1, 2003, Belém. Resumos Belém: MPEG, CD-ROM, 2003.

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