



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ANA PAULA ASSUNÇÃO TEIXEIRA

**A INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL E SAZONAL SOBRE O EFLUXO DE
DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO EM AMBIENTES MODIFICADOS
NA FLONA CAXIUANÃ – PA**

BELÉM

2014

ANA PAULA ASSUNÇÃO TEIXEIRA

**A INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL E SAZONAL SOBRE O EFLUXO DE
DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO EM AMBIENTES MODIFICADOS
NA FLONA CAXIUANÃ – PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia oriental.

Orientador: Prof. Dr. José Henrique Cattanio.

BELÉM

2014

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP) (Biblioteca
do Instituto de Geociências/UFPA)

Teixeira, Ana Paula Assunção, 1985-

A influência da variabilidade espacial e sazonal sobre o efluxo de dióxido de carbono do solo em ambientes modificados na FLONA Caxiuanã – PA / Ana Paula Assunção Teixeira. – 2014.

79 f. : il. ; 30 cm Inclui

bibliografias

Orientador: José Henrique Cattanio

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2014.

1. Dióxido de carbono. 2. Micrometeorologia - Amazônia.
3. Fluxo de calor. 4. Floresta Nacional de Caxiuanã (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 546.6812

ANA PAULA ASSUNÇÃO TEIXEIRA

**A INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ESPACIAL E SAZONAL SOBRE O EFLUXO DE
DIÓXIDO DE CARBONO DO SOLO EM AMBIENTES MODIFICADOS NA FLONA DE
CAXIUANÃ – PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a EMBRAPA Amazônia Oriental.

Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Socioambiental

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Henrique Cattanio - Orientador
Doutor em Agronomia Tropical
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz
Doutor em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Edson José Paulino Queiroz
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Rodrigo Silva do Vale
Doutor em Ciências Florestais
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

minha amiga e irmã, Viviane Martins da Silva (in memoriam), e

À minha mãe

por essa e por outras, por tantas...

Dedico

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos a Deus, por permitir que eu chegasse até aqui, por nossas boas prosas de uma vida inteira, principalmente em campo durante esta experiência. Por toda a proteção por onde é impossível mensurar o perigo, por todo “levantar” em momentos de fraqueza e por todo sorriso em momentos de conquista.

Agradeço à Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal que obtive. Ao Projeto Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: Uma Perspectiva de Estudos Integrados aprovado dentro do Edital 14/2009 PRONEX/FAPESPA/CNPQ por financiar minhas atividades de campo e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado. Igualmente agradeço ao laboratório RPCH pela infraestrutura e todo apoio a mim concedido, especialmente ao Dr. Everaldo Barreiros de Souza e Vânia Franco.

Agradeço ao Dr. José Henrique Cattanio pela orientação prestada, por suas opiniões e sugestões para que fosse realizado da forma mais eficiente possível este trabalho.

Não poderia deixar de agradecer a estagiária Francisca Nara Moreira e aos auxiliares de campo da ECFPn (Pelado e Renato) por terem sido áduos nas tarefas a eles atribuídas, por inúmeras vezes trabalharem comigo além do horário combinado, por serem eficientes e estarem sempre atentos e prestativos, muitas vezes superando o cansaço. Agradeço ao Sr. Conceição que gentilmente permitiu que parte deste estudo fosse realizado em sua propriedade agrícola.

Ao Dr. José Augusto Martins Corrêa, agradeço por todo ensinamento, sugestões, opiniões, broncas e pela disponibilidade e atenção sempre despendidas. Ao Dr. Rodrigo Silva do Vale pelo incentivo, pelas sugestões e esclarecimentos sempre propícios, sempre na hora certa. Ao Dr. Paulo de Tarso Eremita da Silva pelo apoio e confiança na profissional que ele ajudou a formar. Ao MSc. José Danilo Souza Filho pelo auxílio às dúvidas emergentes e ao Dr. Edson Paulino Rocha pela acessibilidade, incentivo e contribuições valiosas neste trabalho. Agradeço também pelas horas que passaram em ouvir minhas experiências e compartilhar comigo as suas, pelos orientadores e amigos que foram e são.

Em especial agradeço à minha mãe Jucinete de Assunção Teixeira por sempre fazer parte da “minha equipe”, minha maior incentivadora e intercessora e ao meu pai Simão Teixeira Filho (*in memoriam*), por todo amor a mim dedicado quando em vida.

Às minhas irmãs Fernanda, Claudia e Camila por toda a amizade, respeito e amor. À minha irmã que a vida me deu o privilégio de conviver, Viviane Martins (*in memoriam*), aos meus sobrinhos Thalia, Karyna, Alexandre e Henrique que fazem eu me sentir amada todos os dias, e aos meus cunhados, Ronaldo Gentil e Paulo Campos, que também fizeram parte desta “equipe”. Agradeço às minhas tias Elda, Nilce, Telma e Selma Assunção, pelas orações para que tudo desse muito certo.

Neste meu breve espaço, quero agradecer aos meus caríssimos amigos, que inúmeras vezes deixaram suas obrigações para contribuir com este trabalho direta ou indiretamente, os quais eu tenho profundo respeito e admiração como profissionais e como seres humanos que são. Meus agradecimentos a Nonato Colares, Vânia Franco, Marta Lima, Thaianne Soeiro, Ana Luisa Brasil, Amanda Nascimento, e aos amigos de classe do PPGCA que eu vou levando pra vida, Cesar Veríssimo, Hilciana Oliveira, Andreza Cardozo e Jaqueline Santos.

Por último, não menos importante, agradeço carinhosamente às minhas amigas, irmãs, colegas de profissão que vem caminhando comigo desde a graduação de Engenharia Florestal na minha querida Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), as quais sempre estiveram presentes em tempos de dificuldade e em tempos de precisão: Nilzabeth Ribeiro, Marcilene Pinheiro, Érika Nery, Lorena Carolina Monteiro, Carla Santos e Regina Costa.

Aos meteorologistas e geólogos quero expressar o quanto é difícil explicar toda a admiração que tenho por seus universos, eu só tenho a agradecer por me permitirem vive-los.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	EFLUXO DE CO ₂ DO SOLO EM FLORESTAS TROPICAIS.....	19
3.2	INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE EM ABERTURAS DE CLAREIRAS NATURAIS NA AMAZÔNIA.....	20
3.3	SOLOS.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
4.2	DESENHO EXPERIMENTAL.....	25
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO DAS CLAREIRAS NATURAL E ANTROPIZADA.....	28
4.4	MENSURAÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS.....	29
4.4.1	Efluxo de CO₂ do solo	29
4.4.2	Temperatura do solo e umidade do solo	31
4.4.3	Temperatura do ar e umidade relativa do ar	31
4.4.4	Precipitação Acumulada	33
4.5	<i>ANÁLISES DE SOLO</i>	33
4.5.1	Coleta e análise química e granulométrica de amostras	33
4.5.2	Coleta e análise mineralógica de amostras	34
4.5.3	Carbono orgânico total	36
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	AMBIENTE MODIFICADO NATURALMENTE (AMN).....	39
5.1.1	Descrição do local	39
5.1.2	Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, calor latente e calor sensível no AMN	43
5.1.3	Comportamento do carbono orgânico total (COT)	47
5.1.4	Comportamento do efluxo de CO₂ do solo, temperatura do solo (Ts) e umidade do solo (Us)	51
5.1.5	Correlação entre o efluxo de CO₂ do solo e as variáveis ambientais	55
5.1.5.1	Correlação entre efluxo de CO ₂ e temperatura do solo (Ts).....	55
5.1.5.2	Correlação entre efluxo de CO ₂ e umidade do solo (Us).....	56
5.2	AMBIENTE MODIFICADO ANTROPICAMENTE (AMA).....	57
5.2.1	Descrição do local	57
5.2.2	Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, calor latente e calor sensível, no AMA	59
5.2.3	Comportamento do carbono orgânico total (COT) no AMA	63
5.2.4	Comportamento do efluxo de CO₂ do solo, temperatura e umidade do solo no AMA	64
5.2.5	Correlação entre efluxo de CO₂ e variáveis ambientais no AMA	69
5.2.5.1	Correlação entre efluxo de CO ₂ e temperatura do solo (Ts).....	69
5.2.5.2	Correlação entre efluxo de CO ₂ e umidade do solo (Us).....	70
6	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS	72

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Composição do solo com 45% de minerais, 25% de ar, 25% de água e 5% de matéria orgânica.....	22
Figura 2	Principais horizontes de um perfil edáfico.....	23
Figura 3	Localização da área de estudo.....	24
Figura 4	Sítios experimentais. a) Clareira natural (AMN) no sítio experimental modificado naturalmente; b) Clareira antropizada (AMA) no sítio experimental modificado antropicamente por área agrícola, no detalhe plantas de mandioca (<i>Manihotesculenta</i> Crantz).....	26
Figura 5	Disposição das parcelas nas áreas de experimento, em relação à clareira do AMN e AMA. Ao centro de cada conjunto de câmaras havia um ponto de medições micrometeorológicas.....	26
Figura 6	Aparelho EGM – 4 junto com a câmara de medição de fluxo SRC-1e o termômetro de temperatura do solo, em medições de efluxo de CO ₂ do solo.....	30
Figura 7	Disposição dos <i>Dataloggers</i> HOBO na área de experimento: a) sensor afixado dentro da floresta/ capoeira; b) sensores dispostos em dois perfis (0, 5 e 8, 0 m acima do solo) no centro da clareira.....	32
Figura 8	Coleta de amostras de solo no centro da área agrícola, utilizando trado boca de lobo.....	34
Figura 9	Difratogramas de Raios-X. a) Pulverização de amostras de solo; b) Porta-amostra de solo compactado para análise; c) Difratômetro de Raios-X.....	35
Figura 10	Análise do Carbono Orgânico Total. a) Equipamento analisador de COT, da Analytik Jena modelo multi N/C 2100/2100 S; b) Barquinha de porcelana com amostra de solo; c) Forno HT 1300 para sólidos com alta temperatura para COT/CT.....	37
Figura 11	Granulometria do solo do AMN.....	39
Figura 12	Precipitação horária acumulada e número de dias com Precipitação referentes ao período de um ano na FLONA de Caxiuanã.....	41
Figura 13	Representação gráfica do comportamento dos fatores microclimáticos no AMN, mês de julho: a) temperatura do ar (°C); b) umidade relativa do ar (%) e c) fluxo de calor sensível e calor latente (w m ⁻²).....	43
Figura 14	Representação gráfica das variáveis ambientais, no mês de setembro, período seco, no AMN. a) temperatura do ar (°C); b) umidade relativa do ar (%) e c) fluxo de calor sensível e calor latente (w m ⁻²).....	46

Figura 15	Concentrações de carbono orgânico total em mg C g ⁻¹ de solo, durante o regime de transição de estação chuvoso-seco, no mês de julho, nas profundidades de 10, 20 e 50 cm do solo, no AMN.....	48
Figura 16	Concentrações de carbono orgânico total em mg g ⁻¹ , durante o período seco, no mês de setembro a 10, 20 e 50 cm de profundidade do solo no AMN.....	50
Figura 17	Comportamento do efluxo de CO ₂ do solo, no ano de 2013, com médias e seus respectivos desvios padrão nos meses de estudo no AMN: a) mês de julho e b) mês de setembro.....	53
Figura 18	Granulometria das frações de areia, silte e argila do AMA.....	58
Figura 19	Representação gráfica do comportamento dos fatores micrometeorológicos no AMA, mês de julho: a) temperatura do ar; b) umidade relativa do ar e c) fluxo de calor sensível e calor latente.....	60
Figura 20	Representação gráfica do comportamento dos fatores micrometeorológicos no AMA, mês de outubro: a) temperatura do ar (°C); b) umidade relativa do ar (%) e c) fluxo de calor sensível e calor latente (w m ⁻²).....	62
Figura 21	Concentrações de carbono orgânico total em mg g ⁻¹ , durante o período de transição de estação Chuvoso-seco (julho), em profundidade de 10, 20 e 50 cm do solo no tratamento AMA.....	63
Figura 22	Concentrações de carbono orgânico total em mg g ⁻¹ , durante o período seco (outubro), em profundidade de 10, 20 e 50 cm do solo no tratamento AMA.....	64
Figura 23	Efluxo de CO ₂ do solo no AMA durante os meses de estudo: a) Julho e b) Outubro.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição dos principais horizontes de um perfil edáfico.....	23
Tabela 2	Descrição das parcelas de estudo nos dois sítios experimentais.....	27
Tabela 2	Média e desvio padrão do efluxo de CO ₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em julho de 2013 no AMN, FLONA Caxiuanã.....	51
Tabela 3	Média e desvio padrão do efluxo de CO ₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mês de setembro de 2013 no AMN, FLONA Caxiuanã.....	52
Tabela 4	Valores médios e desvio padrão da temperatura no solo (°C), a 5 cm de profundidade e da umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) para todas as parcelas, no mês de julho no AMN.....	54
Tabela 5	Valores médios e desvio padrão da temperatura no solo (°C), a 5 cm de profundidade e da umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) para todas as parcelas, no mês de setembro no AMN.....	55
Tabela 7	Valores médios e de desvio padrão do efluxo de CO ₂ em $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$, em julho de 2013, no AMA.....	65
Tabela 8	Valores médios e de desvio padrão do efluxo de CO ₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, em outubro de 2013, no tratamento AMA.....	65
Tabela 9	Valores médios de temperatura do solo e umidade do solo, em período de transição de estação chuvoso-seco (julho) no AMA.....	68
Tabela 10	Valores médios de temperatura do solo e umidade do solo, em período seco (outubro) no AMA.....	69

LISTA DE SIGLAS E/ OU ABREVIATURAS

CO₂	Dióxido de carbono
NEP	Produção líquida do ecossistema (<i>Net Ecosystem Production</i>)
NPP	Produção primária líquida (<i>Net Primary Production</i>)
GPP	Produção primária bruta (<i>Gross Primary Production</i>)
ZCIT	Zona de convergência intertropical
AB	Alta da Bolívia
LI s	Linhas de instabilidade
FLONA	Floresta Nacional
AMN	Ambiente modificado naturalmente
AMA	Ambiente modificado antropicamente
PVC	Policloreto de vinila
TDR	Reflectometria de domínio no tempo (<i>Time Domain Reflectometry</i>)
COT	Carbono Orgânico Total
TC	Carbono Total (<i>Total Carbon</i>)
N	Nitrogênio
MO	Matéria Orgânica
CTC	Capacidade de troca catiônica
TFSA	Terra fina seca ao ar
ICDD	Centro Internacional de difração de dados (<i>International Center for Diffraction Data</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

Rs	Respiração do solo
DC	Mudança de concentração de CO ₂
DT	Tempo decorrido de medida
V	Volume total
A	Área do solo
H	Calor sensível
LE	Calor latente
ρ	Densidade do ar
C_p	Calor específico à pressão constante
K_H	Coefficiente de difusão turbulenta do calor
K_E	Coefficiente de difusão turbulenta do vapor d'água
$\partial T / \partial Z$	Gradiente vertical de temperatura
$\partial Q / \partial Z$	Gradiente vertical de umidade específica
L_v	Calor latente de evaporação
T_{ar}	Temperatura do ar
UR	Umidade Relativa do ar
T_s	Temperatura do solo
U_s	Umidade do solo
r	Correlação de Pearson
R²	Coefficiente de determinação
CV	Coefficiente de Variação
s	Desvio Padrão
PRP	Precipitação acumulada
MO	Matéria Orgânica
CTC	Capacidade de Troca de Cátion
V	Saturação por base
CaCO₃	Calcita

RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar a influência da variabilidade espacial e sazonal sobre o efluxo de CO₂ do solo para a atmosfera comparando com fluxos de calor sensível e calor latente, assim como com as variáveis ambientais (temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar e umidade volumétrica do solo) e carbono orgânico total do solo. Este estudo foi realizado em ambientes modificados naturalmente (AMN) e antropicamente (AMA) na FLONA de Caxiuanã (PA), durante o período de transição de estação chuvoso-seco e período seco no ano de 2013. Pudemos constatar que a abertura de clareiras de forma natural e antrópica promovem variações dos fatores ambientais que chegam ao interior dos ambientes modificados, provocando maior intensidade no fluxo de calor, favorecendo assim a variabilidade espacial do efluxo de CO₂. O AMN apresentou um aumento do efluxo de CO₂ do período de transição da estação chuvoso-seco para o período seco, onde as maiores taxas de efluxo ocorreram no período da tarde com o afastamento da clareira para o interior da floresta sob dossel fechado em sentido leste e oeste da clareira. Contrastando com o AMA onde foi verificada redução das taxas de efluxo do período de transição de estação chuvoso-seco para o período seco. As correlações entre temperatura do solo e umidade do solo com o efluxo de CO₂ apresentaram correlação significativa principalmente no centro das clareiras, influenciadas pelo transporte de calor mais intenso neste local. Dessa forma, o efluxo de CO₂ recebe influência das variáveis ambientais micrometeorológicas, características físicas e químicas do solo e aporte de carbono orgânico total, apresentando variações de comportamento com a abertura de clareira natural e antropizada na floresta Amazônica.

Palavras-chave: Emissão de CO₂ do solo. Floresta Nacional. Micrometeorologia. Clareira. Fluxos de calor. Amazônia.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the influence of spatial and seasonal variability on the efflux of CO₂ from the soil to the atmosphere by comparing with heat sensitive streams and latent heat as with the environmental variables (air and soil temperature, relative humidity and volumetric soil moisture) and total organic carbon in soil. This study was conducted in environments modified naturally (AMN) and antropicamente (AMA) on the FLONA of Caxiuanã, PA, during the transitional period of rainy-dry season and dry period in the year 2013. We have seen that the opening of anthropogenic and natural gaps promote variations of environmental factors arriving at the interior of the modified environments, causing greater intensity in the heat flux, favoring thus the spatial variability of CO₂ efflux. The AMN showed an increase of CO₂ efflux from the period of transition from the rainy–dry season to the dry period, where the highest rates of efflux occurred in the afternoon with the removal of the gap to the interior of the forest under closed canopy in east and west the gap. Contrasting with the AMA where it was verified reduction of rates of efflux of the transitional period of rainy– dry season to the dry period. Correlations between soil temperature and soil moisture with the CO₂ efflux presented significant correlation mainly in the center of the gaps, influenced by heat transport more intense at this location. In this way, the CO₂ efflux receives influence of environmental micrometeorological variables, soil physical and chemical characteristics and contribution of total organic carbon, showing variations of behavior with the opening of natural gap and anthropized in the Amazon rainforest.

Keywords: CO₂ emission from the soil. National Forest. Micrometeorology. Gap. Heat fluxes. Amazon.

1 INTRODUÇÃO

As florestas do mundo estão cada vez mais em evidência, já que influenciam o clima por meio de agentes físicos, químicos e biológicos, que por sua vez afetam a energética planetária, o ciclo hidrológico e a composição atmosférica. Diante das incertezas sobre as mudanças climáticas globais, os serviços ambientais prestados por interações florestas-atmosfera que ocorrem de forma complexa, se tornam ainda mais importantes, tendo em vista o potencial de atenuar ou ampliar as alterações climáticas motivadas por ações antropogênicas (BONAN, 2008).

Segundo Fisher *et al.* (2009) o destaque internacional que a Amazônia brasileira alcançou devido a sua elevada biodiversidade e magnitude de trocas de massa e energia, evidencia todo seu potencial como fonte de evapotranspiração continental, entre vários outros fatores. A biofísica e a biogeoquímica das florestas Amazônicas são também de fundamental importância no ciclo do carbono global, e conseqüentemente, no clima do planeta. Nesta direção, os processos que mediam o fluxo do carbono, da água e de energia entre a biosfera e a atmosfera estão entre os mais importantes componentes do ciclo biogeoquímico global (WILLIAMS *et al.*, 1998). As florestas tropicais apresentam até 40% de carbono armazenado como biomassa terrestre e representam de 30 - 50% da produtividade terrestre (PHILLIPS *et al.*, 1998; HIGUCHI *et al.*, 2004).

O carbono líquido adquirido por uma floresta é resultante do equilíbrio entre os processos de aquisição (fotossíntese, crescimento de árvores, amadurecimento da floresta e acúmulo de carbono no solo) e de liberação de carbono (respiração da biomassa viva, mortalidade dos indivíduos do ecossistema e decomposição microbiana da matéria orgânica morta, oxidação de carbono do solo), que operam em uma variedade de escalas de tempo, que vão de variações diárias a sazonais, interanual e até interdecadal, influenciadas por variáveis climáticas e ambientais (MALHI; BALDOCCHI; JARVIS, 1999).

Para Meir *et al.* (1996) 84% do fluxo total de CO₂ pode estar vindo do solo, o que representa globalmente uma grande fração para atmosfera, cujas maiores contribuições provêm de florestas tropicais e subtropicais (RAICH; POTTER; BHAGAWATI, 2002). A liberação do CO₂ do solo para a atmosfera depende da decomposição da matéria orgânica, gradientes de temperatura, concentração de CO₂ no sistema solo-atmosfera, propriedades físicas do solo e flutuações de pressão do ambiente (RAICH *et al.*, 1985; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2004), demonstrando a dependência que os mecanismos de respiração tem com a variabilidade espacial e temporal.

Quando um sistema natural é destruído ou alterado, o ciclo hidrológico e biogeoquímico, os quais interagem para manter o equilíbrio no ambiente, são interrompidos (ANDRADE *et al.*,

2008). Portanto, pequenas perturbações na estrutura e/ou na função do bioma podem apresentar consequências regionais e/ou globais para a biodiversidade, ciclo do carbono, além de contribuir de maneira decisiva nas alterações do clima (PHILLIPS *et al.*, 1998; GONÇALVES, 2009). Em ambiente de floresta a forma mais visível de perturbação é a formação de clareiras, onde o microclima destes ambientes difere bastante do ambiente de floresta com dossel fechado, levando a diferenças substanciais na estrutura e composição da vegetação (PERES, 2001).

Carvalho (1999) definiu a clareira como uma área da floresta com dossel descontínuo pela queda de galhos e de uma ou mais árvores, limitada pela copa de árvores marginais. Para Brokaw (1982) a clareira se estende através de todos os estratos da floresta até uma altura média de dois metros do solo. As clareiras que ocorrem nas florestas tropicais são causadas por distúrbios, na maioria das vezes, de origem natural, ocasionados por tempestades, deslizamentos de terra e doenças por parasitas provocando queda de uma ou mais árvores (ALMEIDA, 1989; KUKKONEN *et al.*, 2008). De acordo com Jardim, Serrão, Nemer (2007) a curva de distribuição das clareiras, nas florestas tropicais, em classes de tamanho segue um padrão exponencial decrescente, com maior concentração nas menores classes de tamanho. Neste bioma pequenas clareiras são mais frequentes do que grandes clareiras, contudo, grandes clareiras são responsáveis pela maior parte das alterações por esse tipo de perturbação (ARRIAGA, 1988).

As clareiras também são ocasionadas, pela ação do homem (HARTSHORN, 1978; ORIAN, 1982; JARDIM *et al.*, 1993), sendo que nas florestas da Amazônia, as clareiras artificiais surgem a partir de extração de madeira, pecuária, agricultura e mineração, resultando em um desmatamento contínuo intensificado pela expansão do uso da terra em toda a região. Esta ação antrópica ocasiona importantes implicações em processos biogeoquímicos, incluindo o sequestro de carbono e a sustentabilidade em longo prazo da produtividade das florestas na região (ASNER; KELLER; SILVA, 2004).

As florestas com suas características climáticas mantêm diversas espécies de plantas e animais que vivem na dependência do ciclo sazonal e que constituem um complexo sistema ecológico apresentando, todavia, sensibilidade ao clima (COSTA; FERNANDES; BANDEIRA, 2010). Alterações no clima e na estruturação biológica das florestas podem levar a mecanismos de *feedback* nos ciclos biogeoquímicos globais, ainda desconhecidos (SOTTA *et al.*, 2007), afetando os estoques de carbono na vegetação, assim como o carbono total do solo (DAVIDSON; ISHIDA; NEPSTAD, 2004). As alterações microclimáticas podem ser analisadas a partir de avaliações das

variações dos principais elementos climáticos que formam o microclima local, como temperatura, umidade relativa e radiação (COSTA; FERNANDES; BANDEIRA, 2010).

Estima-se que 50 - 84% de carbono emitido para a atmosfera em forma de dióxido de carbono (CO₂) seja oriundo do solo (MEIR *et al.*, 1996; MALHI; BALDOCCHI; JARVIS, 1999; CHAMBERS *et al.*, 2004). De acordo com Sotta *et al.* (2004) o efluxo de CO₂ do solo para a atmosfera está fortemente correlacionado com a temperatura e umidade do solo, entretanto, fatores como o teor de nutrientes, respiração das raízes, processos microbióticos, matéria orgânica, aeração, disponibilidade de água e tipo de vegetação podem interferir nas taxas de efluxo de CO₂.

Os estudos do fluxo de carbono na interação biosfera-atmosfera permitem que se avalie o impacto de eventuais mudanças ambientais no mesmo, incluindo mudanças no uso da terra, na variabilidade climática e no aumento de concentração de CO₂ na atmosfera, alterando o funcionamento total de um ecossistema natural (GALLON; SANCHES; PAULO, 2006). Segundo Williams *et al.* (1998) as mensurações dos componentes do sistema biosfera-atmosfera, são estritamente limitadas em algumas dimensões de espaço e de tempo, por restrições financeiras e técnicas, sendo que frequentemente, para essas mensurações, é possível apenas coletar dados em números limitados de locais e/ou períodos.

Nesse sentido, entender a problemática regional e global é um desafio que requer o entendimento em detalhes dos processos relacionados aos fluxos e do comportamento biofísico e biogeoquímico das florestas tropicais, especialmente na região Amazônica, que frequentemente sofre modificações ambientais por via natural e/ou antrópica. O que nos instiga conhecer a magnitude e a variabilidade espacial do efluxo de CO₂, assim como o comportamento deste em função dos fatores ambientais em ambientes modificados por abertura de clareira na FLONA Caxiuanã. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo investigar a influência sazonal e espacial sobre o efluxo de CO₂ em ambientes que sofrem transformações dentro de uma floresta nacional na Amazônia Oriental, sob a hipótese de que a magnitude do efluxo de CO₂ em clareiras naturais é mais acentuada do que em clareiras de formação antrópica e de que o fluxo de calor solo-atmosfera favorecido pela abertura de clareiras influencia o efluxo de CO₂.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a micrometeorologia e a influência da sazonalidade e da variabilidade espacial sobre o efluxo de CO₂ do solo em ambiente modificado naturalmente, por abertura natural de clareira, e ambiente modificado antropicamente, por clareira artificial para realização de atividades agrícolas, na FLONA de Caxiuanã (PA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Estimar o efluxo de CO₂ do solo e analisar a micrometeorologia (solo-atmosfera) sazonal e espacialmente na FLONA Caxiuanã;
- ii) Investigar a distribuição espacial do teor de carbono orgânico total do solo, durante a transição de estação úmida-seca e estação seca;
- iii) Testar as relações entre o efluxo de CO₂ e as mudanças micrometeorológicas (temperatura do solo e umidade do solo) nos locais de estudo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 EFLUXO DE CO₂ DO SOLO EM FLORESTAS TROPICAIS

Em estudo Zanchi *et al.* (2002) definiram efluxo de CO₂ do solo ou respiração do solo como um componente do balanço de CO₂ no ecossistema, o qual é representado pela emissão de CO₂ do solo para a atmosfera através do aumento da concentração advindo da respiração de raízes, atividades microbiológicas e oxidação do carbono decorrente da decomposição de matéria orgânica morta abaixo (raízes) e acima da superfície (folhagens, galhos, gravetos, frutos, animais) do solo. Entretanto, para Coelho (2005) respiração do solo e efluxo de CO₂ não são sinônimos, embora sejam frequentemente usados como tal. Para esta autora a respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica do solo, a qual inclui a respiração das raízes e organismos do solo que atuam ou não no processo de decomposição, sendo que o efluxo de CO₂ é a liberação do CO₂ para a atmosfera e, portanto, depende dos processos de produção de CO₂ e físico para que ocorra o fluxo de gás para fora do solo (difusão e/ ou advecção).

De acordo com Sarmiento e Gruber (2002), o papel da biosfera vincula os processos de evapotranspiração e emissão/remoção de CO₂ atmosférico, estando desta forma fortemente relacionado à questão da variabilidade climática regional e global. Para Metcalfe (2010) períodos de seca durante eventos de *El Niño*, que ocorreram no passado, aparentemente causaram alterações em escala regional de troca de carbono de toda floresta amazônica, que passou de um sumidouro de carbono líquido para uma fonte acima de $1,5 \times 10^9 \text{ t C ano}^{-1}$.

Também Metcalfe (2007) já havia enfatizado o fato de que grande parte da inibição ocasionada por indução da seca deve-se à diminuição do efluxo de CO₂ pela respiração do solo, como componente singular do ecossistema. Isso ocorre porque durante o *El Niño* o efeito termodinâmico tende a compensar o aquecimento tropical, devido à dinâmica atmosférica que é na mesma direção.

Altas emissões líquidas foram associadas a fortes eventos de *El Niño* que impactaram a Amazônia (ZENG; MARIOTTI; WETZEL, 2005). Os mesmos autores constataram em seu estudo nos trópicos, que a diminuição de precipitação durante um evento de *El Niño* ocasiona umidades mais baixas no solo, resultando em menor produção primária bruta (GPP) e menor produção primária líquida (NPP), originada por menor absorção de carbono.

Em estudos sobre solos da Mata Atlântica Brasileira, Sousa Neto *et al.* (2011) constataram que o efluxo de CO₂ do solo está fortemente relacionado com a temperatura, onde as emissões de CO₂ do solo foram maiores quando as temperaturas do solo e do ar foram mais elevadas.

Para Silva Junior *et al.* (2004) 80% do CO₂ emitido em ecossistemas de florestas tropicais chuvosas é resultante de processos de respiração autotrófica e heterotrófica. Chambers *et al.* (2004), em estudo numa floresta de terra firme da Amazônia central, encontraram valores mais baixos de respiração do solo na estação chuvosa devido à saturação do solo ocasionada pela precipitação elevada, que limitava a difusão de CO₂ no solo e a respiração microbiana. Sendo considerada, portanto, a dependência do efluxo de CO₂ do solo em relação ao gradiente de transporte de gases no solo e o gradiente entre o solo e a atmosfera, onde este, é afetado pela fração de poros do solo preenchidos com ar ou com água.

3.2 INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE EM ABERTURAS DE CLAREIRAS NATURAIS NA AMAZÔNIA

O clima de uma região é resultante da combinação de vários fatores, os quais são denominados de controles climáticos. A Amazônia se destaca biologicamente de outros biomas pela alta disponibilidade de energia solar e pela precipitação, associado à atuação das variabilidades atmosféricas de escalas interanual e intrassazonal, tais como, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Alta da Bolívia (AB), *El Niño* e *La Niña*, Linhas de Instabilidade (LIs), Brisa Fluvial e penetração de sistemas frontais como também a organização da convecção na Amazônia (VITORINO, 2002; FREIRE, 2011), as quais modulam os sistemas meteorológicos no tempo e espaço.

Para Malhi *et al.* (2008) a floresta Amazônica enfrenta um futuro incerto, onde o esperado é que esta aqueça e experimente menos chuvas, além de um aumento na frequência de severos períodos de seca no futuro. Evidências sugerem que a seca poderá proporcionar um acelerado efeito generalizado sobre a dinâmica do carbono e estrutura de dossel, aumentando a taxa de mortalidade de árvores de grande porte (PHILLIPS *et al.*, 2009)

De acordo com Arriaga (1988) e Chandrashekara e Ramakrishnan (1994) uma série de mudanças ambientais ocorre logo após a formação de clareiras em uma floresta, da qual magnitude é determinada pelo tamanho da abertura, que impacta o ambiente e provoca alterações que podem ser sentidas na organização e na função dos ecossistemas. As clareiras proporcionam temporariamente um aumento na incidência de radiação solar no piso florestal (BARTON; FETCHER; REDHEAD, 1989), provocando uma renovação de vegetação em florestas naturais

quando as perturbações, tais como tempestades, deslizamentos de terra e parasitas causam quedas de galhos grandes ou de árvores, formando uma abertura no dossel (KUKKONEN *et al.*, 2008).

De acordo com Tabarelli e Mantovani (1999), clareira em locais com exposição solar sudoeste e sudeste recebem reduzida luz solar direta em seus interiores. Nessas condições, grandes clareiras são ambientalmente similares às pequenas (TABARELLI e MANTOVANI, 1997). Em florestas pluviais tropicais e em florestas temperadas, a maioria das clareiras é pequena, representando as menores porções de área coberta por clareiras naturais na floresta. Clareiras grandes, ao contrário, contribuem com a maior parte da área total de clareiras, apesar de serem menos frequentes (LIMA, 2005).

3.3 SOLOS DA AMAZÔNIA

Os solos por constituírem a interface entre litosfera, atmosfera e hidrosfera desempenham fundamental papel em atividades humanas por ser base de sustentação de grande número delas, sendo que também atuam como excelentes estratificadores do meio, devido a interações do material de origem com o clima e os componentes bióticos da paisagem (ASSAD *et al.*, 1998).

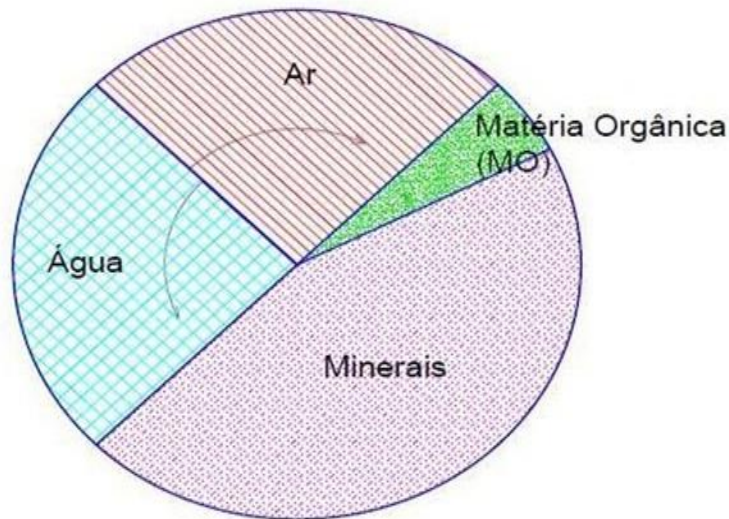
A Amazônia, em toda sua extensão, apresenta como característica uma alta diversidade geológica, geomorfológica, edáfica e de vegetação. Para Vale Júnior *et al.* (2011) a paisagem, e principalmente os solos da Amazônia sofreram modificações devido a combinação da diversidade destes fatores a partir do mesozóico, durante o plioceno-pleistoceno até os dias atuais.

O solo é um componente ambiental complexo e suas variações referentes às propriedades físicas, químicas e biológicas são definidores de padrões ecológicos e do próprio uso da terra, cujo potencial, a humanidade busca aproveitar para erguer as bases de sobrevivência, nem sempre de forma sustentável (VALE JÚNIOR *et al.*, 2011). A variabilidade espacial, horizontal e vertical que caracteriza a heterogeneidade do solo é dependente de fatores de formação e de manejo do solo (SOUZA *et al.*, 2001).

A proporção dos componentes do solo (Figura 1) varia muito de solo para solo, mas em média pode se considerar que, em volume, é composto por cerca de 45% de minerais, 25% de ar, 25% de água e 5% de matéria orgânica (incluindo organismos vivos). Como importantes componentes do solo o ar e a água disputam espaço à medida que o aumento de um diminui o volume de outro no solo. Para Odum (1988) em um momento de capacidade máxima de retenção de água em um solo, o teor de água neste tende a zero. O ar contido no solo continuamente passa por renovações através das trocas com o ar da atmosfera, justificando a pequena diferença que há entre

o ar da camada superficial do solo para o ar atmosférico, o que é favorável a processos vitais da biota do solo (VALENTINI, 2004).

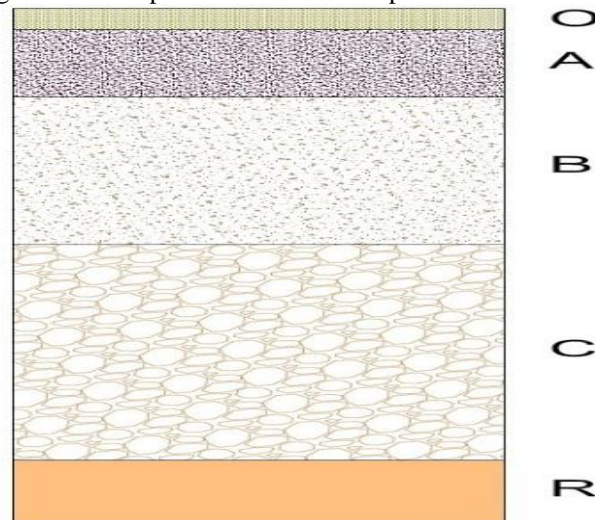
Figura 1 - Composição do solo com 45% de minerais, 25% de ar, 25% de água e 5% de matéria orgânica.



Fonte: A FÍSICA DO SOLO (2014)

A face vertical de uma trincheira é capaz de mostrar que o solo é composto de camadas distintas que muitas vezes diferem de cor, pois apresentam aspectos e propriedades diferentes, estas camadas são chamadas de horizontes edáficos, representadas na figura 2, mostrando as distintas camadas desde a mais orgânica (horizonte O) até a que contém material menos intemperizado (horizonte R), apresentadas detalhadamente na Tabela 1.

Figura 2 - Principais horizontes de um perfil edáfico.



Fonte: A FÍSICA DO SOLO (2014)

Esta sequência de horizontes da superfície para baixo são chamados de perfis edáficos, e possuem sua definição conforme a Tabela 1.

Tabela 6 - Descrição dos principais horizontes de um perfil edáfico

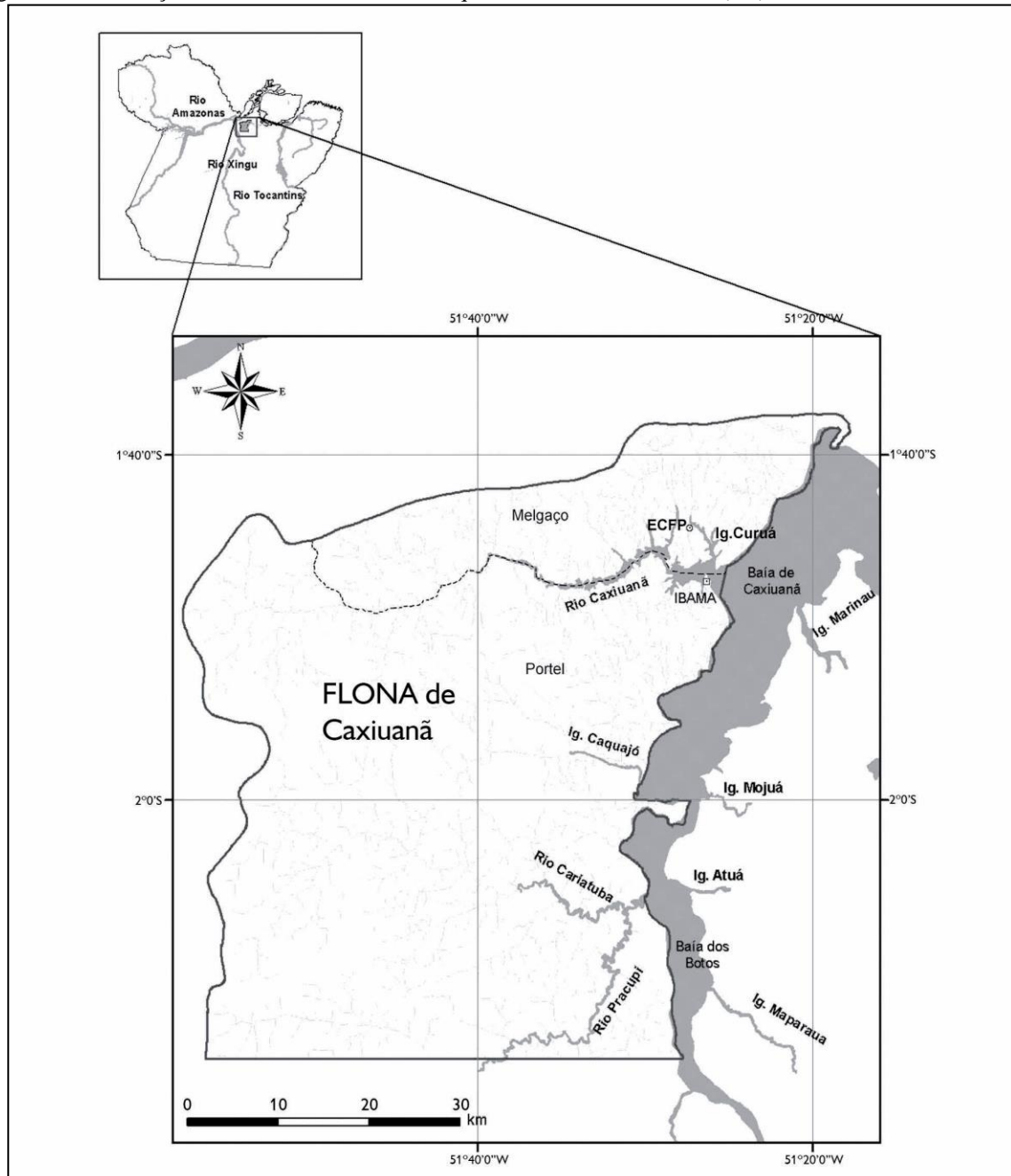
Horizontes	Descrições
O	Camada orgânica superficial, constituído por folhas e detritos vegetais e animais, e por substâncias húmicas acumuladas na superfície.
A	Camada de cor escura, rica em matéria orgânica, resultante da decomposição dos seres vivos, juntamente com o material mineral onde estão raízes de plantas e alguns animais.
B	Essencialmente mineral com alguns materiais da decomposição orgânica.
C	Constituído por material mineral não consolidado, onde não abrange as zonas onde ocorreram modificações biológicas.
R	Camada mineral de material consolidado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área experimental está localizada na Floresta Nacional de Caxiuanã (FLONA de Caxiuanã), no estado do Pará ($1^{\circ}43'35''$ S, $51^{\circ}27'36''$ W) a 400 km em linha reta a oeste da cidade de Belém (Figura 3).

Figura 3 - Localização da área de estudo, em destaque a FLONA de Caxiuanã (PA).



Fonte: Adaptado de Montag *et al.*, 2008

A região da FLONA de Caxiuanã apresenta uma distribuição regular das chuvas durante todo o ano, porém com uma sazonalidade definida (COSTA; RODRIGUES; KERNE, 2009), permitindo diferenciar os períodos chuvosos e os períodos secos. Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido entre os meses de dezembro a maio, enquanto que o período seco ocorre entre os meses de agosto a novembro. Os meses de junho e julho são os meses que representam o período de transição entre o final do período chuvoso e o início do período seco (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

O clima da FLONA, segundo a classificação de Köppen, é tipo tropical quente e úmido pertencente ao subtipo climático “Am”. A temperatura média do ar é de 26,7° C (oscilando entre 22,0 a 32,0 °C) (COSTA *et al.*, 2003). O brilho de luz solar alcança 2.100 horas ano⁻¹, com média anual de umidade relativa do ar em torno de 80%. A direção do vento predominante é de nordeste (MORAES *et al.*, 1997). A precipitação média anual (dados de 1999 a 2003) é de 2.272 ± 193 mm, com uma estação seca pronunciada entre julho e dezembro, quando, em média, apenas 555 ± 116 mm de chuva foram registrados (FISHER *et al.*, 2006).

A FLONA de Caxiuanã é composta por floresta primária e possui ecossistemas de terra-firme, várzea, igapó e manchas de savana. O dossel médio apresenta árvores entre 30 a 35 m de altura, com alguns exemplares emergentes de até 50 m, e possui um sub-dossel de 20 a 25 m de altura. A diversidade florestal, com árvores acima de 10 cm de diâmetro, fica entre 150 a 160 espécies ha⁻¹, e uma densidade de 450 a 550 árvores ha⁻¹, apresentando uma biomassa acima do solo de 200 m³ ha⁻¹ (VIANA *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

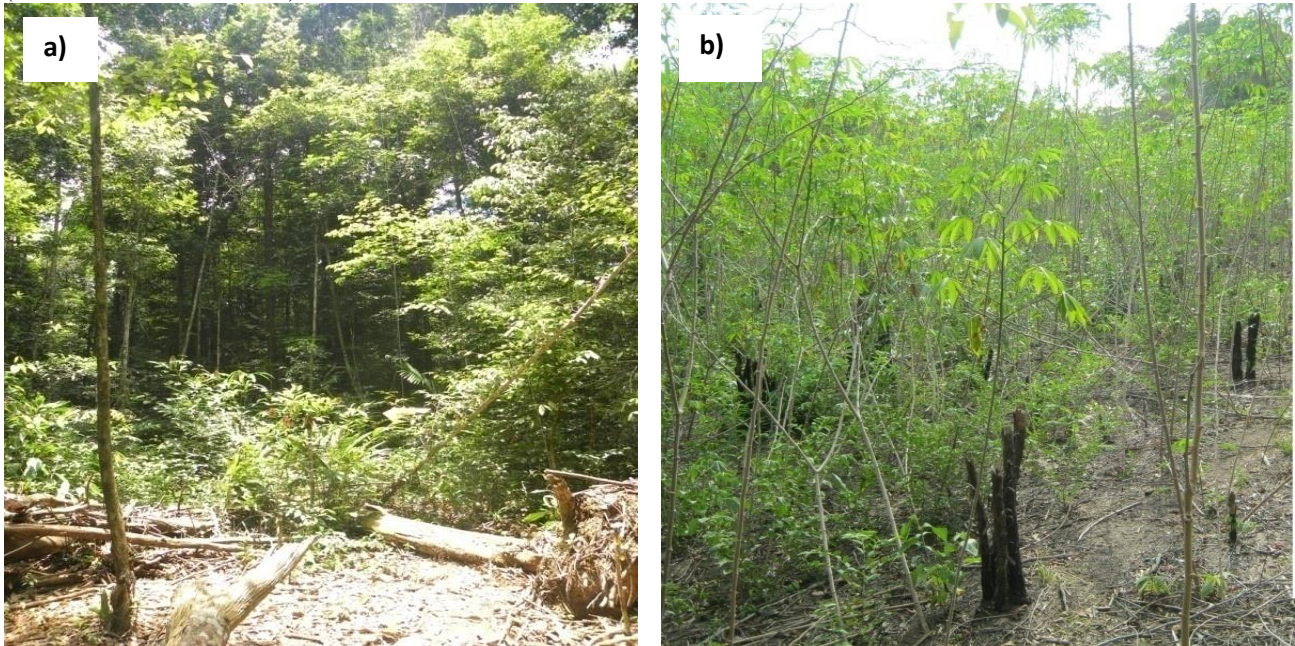
Segundo Costa, Rodrigues e Kerne (2009) a FLONA Caxiuanã apresenta diferentes tipos de solo, dentre eles argissolo, latossolo, plintossolo, alissolo, gleissolo e neossolo. O principal solo da FLONA de Caxiuanã é classificado como Latossolo Amarelo, podendo apresentar uma espessa camada de 0,3 - 0,4 m de laterita entre as profundidades de 3,0 e 4,0 m (RUIVO e CUNHA, 2003). A granulometria do solo (0,0 - 0,5 m) é de 75 - 83% areia, 12 - 19% de argila e 6 - 10% de silte (RUIVO e CUNHA, 2003). Os solos vão de bem drenados a moderadamente drenados, ácidos e pobres em nutrientes (RUIVO *et al.*, 2002), bem característicos aos solos da Amazônia.

4.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Para este estudo, foram selecionados aleatoriamente dois sítios experimentais distintos (Figura 4): um ambiente modificado naturalmente (AMN) e um ambiente modificado antropicamente (AMA), denominadas assim, neste estudo, pela modificação ocorrente no ambiente pela abertura de clareira. No AMN a abertura de clareira foi natural (464 m² de área aberta)

provocada por mortes e consequentes quedas de árvores, a qual ficou circundada por floresta primária (Figura 4a). No AMA a formação da clareira se deu pela ação do homem (antropizada) originada pela abertura e expansão de área agrícola (6.502 m² de área aberta) (Figura 4b), apresentando floresta secundária (capoeira) ao seu entorno.

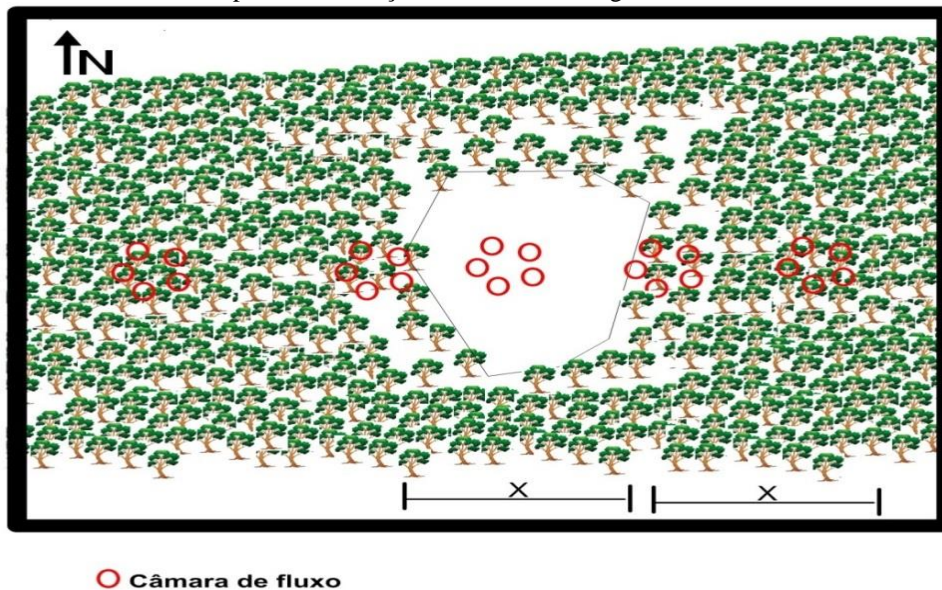
Figura 4 - Sítios experimentais. a) Clareira natural (AMN) no sítio experimental modificado naturalmente; b) Clareira antropizada (AMA) no sítio experimental modificado antropicamente por área agrícola, no detalhe plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).



Fonte: Do autor

Um transecto em sentido leste-oeste foi estabelecido em cada sítio experimental, englobando áreas de floresta com dossel fechado e bordaduras do centro da clareira em ambos os sentidos, assim como o centro da clareira no AMN. Para o AMA, o transecto foi demarcado partindo da área de capoeira e se estendendo pela área agrícola e indo até uma área de capoeira novamente (Figura 5).

Figura 5 - Disposição das parcelas nas áreas de experimento, em relação à clareira do AMN e AMA. Ao centro de cada conjunto de câmaras havia um ponto de medições micrometeorológicas.



Fonte: Do autor

Em cada sítio experimental foram dispostas cinco parcelas circulares e permanentes (aqui referenciadas como P1, P2, P3, P4, P5 no AMN e P6, P7, P8, P9, P10 no AMA) (Tabela 2), que permitiram medidas repetidas na mesma posição durante todo o estudo.

Tabela 2: Descrição das parcelas de estudo nos dois sítios experimentais.

Ambiente Modificado Naturalmente	
P1	Floresta primária com dossel fechado a leste da clareira natural
P2	Bordadura da clareira a leste
P3	Centro da clareira natural
P4	Bordadura da clareira a oeste
P5	Floresta primária com dossel fechado a oeste
Ambiente Modificado Antropicamente	
P6	Floresta secundária a leste da clareira antropizada
P7	Bordadura da clareira a leste
P8	Centro da clareira antropizada, área agrícola
P9	Bordadura da clareira a oeste
P10	Floresta secundária a oeste da clareira

Fonte: Do autor

Em cada parcela foram definidos um ponto de medições micrometeorológicas e cinco pontos de respiração do solo, considerados neste trabalho como pseudo-repetições. As parcelas permanentes foram demarcadas com piquetes (0,50 m) de madeira resistente e georreferenciadas com GPS em vértices previamente definidos, sendo que o sistema utilizado na marcação das coordenadas geográficas foi o UTM/ UPS.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO DAS CLAREIRAS NATURAL E ANTROPIZADA.

A medida da área da clareira foi tomada junto à projeção no solo da copa das árvores do dossel adjacente, cujas estimativas foram calculadas com auxílio de GPS e analisadas com o programa *Arcgis*. Para caracterizar a AMN foram seguidos os métodos utilizados por Tabarelli e Mantovani (1999), onde estes autores classificaram a origem da clareira em três categorias: (1) desenraizamento de toda a árvore; (2) quebra na base do tronco ou fuste e (3) quebra de copa ou árvore morta em pé. A idade foi classificada em duas classes: (1) recente - quando observada copa com galhada no chão da floresta, com ou sem folhas; (2) antiga - onde não houver mais vestígios de copa e galhada, com tronco em pé ou no chão da floresta, em estágio avançado de decomposição.

A abertura da clareira natural selecionada para o estudo possivelmente foi originada de queda após morte de uma árvore, que conseqüentemente ao cair derrubou outras árvores formando uma clareira. Não foi possível identificar a espécie da árvore que a originou devido ao seu estágio de decomposição. Foi observado na clareira, originada naturalmente, muitas árvores mortas caídas no piso florestal e outras mortas em pé descopadas e desgalhadas.

A caracterização da clareira antropizada de origem agrícola se deu a partir da avaliação realizada mediante entrevista ao produtor, visando caracterizar: (1) Tamanho da área agrícola; (2) Idade da área agrícola, estabelecendo o mês e o ano de implantação; (3) Cobertura vegetal antes da implantação da área agrícola; (4) Idade da capoeira adjacente à área agrícola; (5) Ano de retirada da floresta na área de roçado; (6) Cultivos agrícolas implantados no roçado; (7) Manejo adotado para implantação da área (fogo, manual); (8) Manejo adotado depois de plantado (quantidade de capinas por ano).

4.4 MENSURAÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS

As dinâmicas de fluxo de massa e energia, principalmente fluxos de CO₂ e fluxos de calor sensível e calor latente são umas das principais responsáveis pela transferência de massa e energia entre uma superfície vegetada e a atmosfera (LOWMAN *et al.*, 2008). Para relacionar a variação do

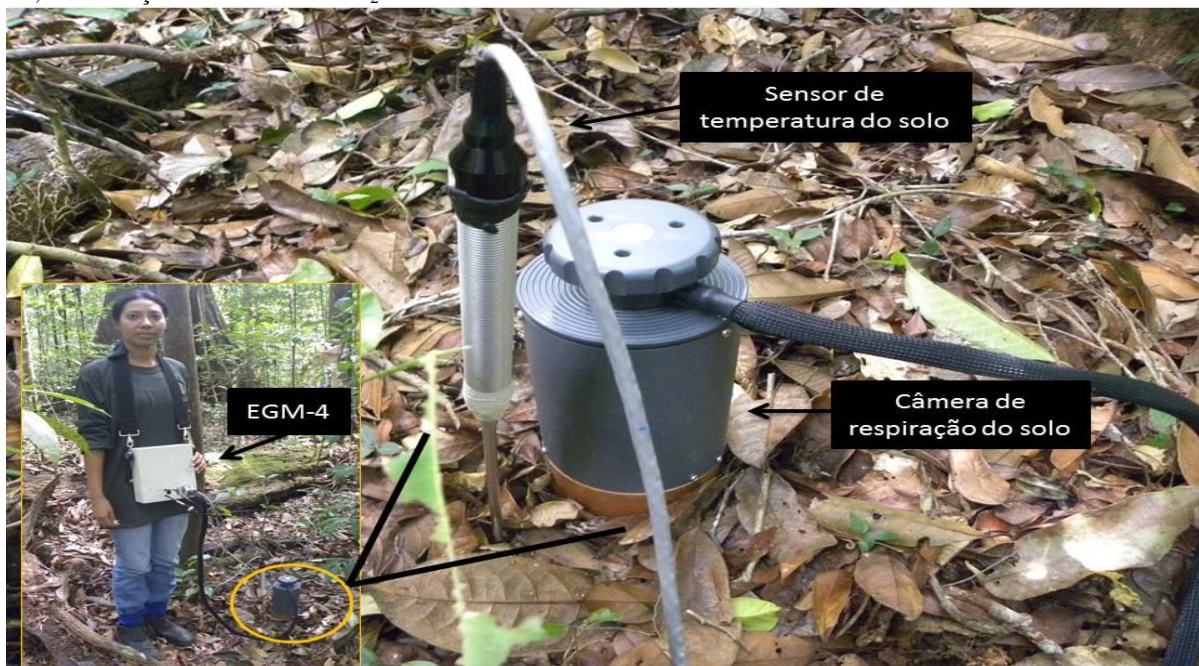
efluxo de CO₂ do solo e as variáveis ambientais de ambos os sítios propostos para o estudo, foram coletados dados de temperatura do solo (°C), umidade do solo (m³ m⁻³), temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). Foram também registradas as informações: dia, hora e condições do tempo nos dias de trabalho de campo. Todas as variáveis obtidas foram as mesmas para os dois sítios experimentais.

Os dados analisados foram obtidos no ano de 2013, através de campanhas de coletas de dados, considerando a transição da estação chuvosa para seca, a qual ocorreu nos meses junho e julho, e a estação seca, nos meses de setembro e outubro. No AMN, as coletas ocorreram nos meses de Julho e Setembro, selecionados como representantes do período de transição da estação chuvosa para seca e estação seca, respectivamente. Por conseguinte, no AMA as coletas se deram nos meses Julho e Outubro, também como representantes do período de transição e do período seco.

4.4.1 Efluxo de CO₂ do solo

As medidas de efluxo de CO₂ foram realizadas utilizando o aparelho portátil de absorção de gás por infravermelho EGM-4 (*Environmental Gas Monitor*) da empresa PP-Systems, o qual é conectado a uma câmara fechada de respiração do solo (SRC-1), e sendo a medição baseada na absorção de radiação na banda do infravermelho ($\lambda > 0,7 \text{ mm}$) pela molécula de CO₂ (Figura 6).

Figura 6 - Aparelho EGM-4, junto com a câmara de medição de fluxo SRC-1e o termômetro de temperatura do solo, em medições de efluxo de CO₂ do solo.



Fonte: Do autor

A respiração do solo (R_s) é dada na forma de fluxo obtido através da câmara fixa no solo, onde a concentração de CO_2 aumenta no tempo, devido à circulação do ar em um volume de controle fechado. As medidas foram conduzidas em período diurno, em cinco pontos distribuídos aleatoriamente no interior de cada parcela, com pelo menos duas medições diárias em cada ponto, com distância de aproximadamente 1,30 m de um ponto ao outro, e codificadas em sentido horário para controle das medições.

Os pontos para as medições foram demarcados em cada parcela a partir da instalação de cinco anéis de PVC permanentes no solo, ajustáveis à câmara (diâmetro de 10 cm e 10 cm de altura), sendo fixados ao solo através de movimentos rotacionais, de forma a minimizar alterações na serrapilheira, danos às raízes ou no material orgânico da superfície do solo, conforme metodologia adotada por Dias (2006). O uso de anéis permanentes limita o distúrbio do solo e permite medidas repetidas na mesma posição durante o experimento (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2013). Os anéis foram introduzidos a uma profundidade de aproximadamente 5 cm no solo, um mês antes do início do experimento para que o solo pudesse se estabilizar e minimizar os distúrbios dos anéis no local, além de evitar vazamentos e leituras incorretas causadas por fissuras no solo (COELHO, 2005).

A respiração do solo foi calculada a partir da taxa de variação de concentração de CO_2 do solo dentro do volume da câmara por unidade de tempo e pela área coberta pela câmara (Equação 1).

$$R_s = \frac{\Delta C}{\Delta T} \cdot \frac{P}{1000} \cdot \frac{273}{t+273} \cdot \frac{44,01}{22,41} \cdot \frac{V_c}{A} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: R_s é o efluxo de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$), $\frac{\Delta C}{\Delta T}$ representa a variação em ppm do CO_2 dentro da câmara pela variação do tempo (T , s). Sendo P a pressão atmosférica (Pa), t é a temperatura do ar dentro da câmara ($^\circ\text{C}$), V_c é o volume total do sistema (m^3) e A é a área do solo exposto à medida (m^2).

4.4.2 Temperatura do solo e umidade do solo

Dados de temperatura do solo foram obtidos a partir da utilização do sensor portátil acoplado ao aparelho EGM-4 que foi introduzido no solo à profundidade de 5,0 cm, próximo às câmaras fixas (Figura 6) ao mesmo tempo em que foi feita a medição do efluxo de CO_2 do solo.

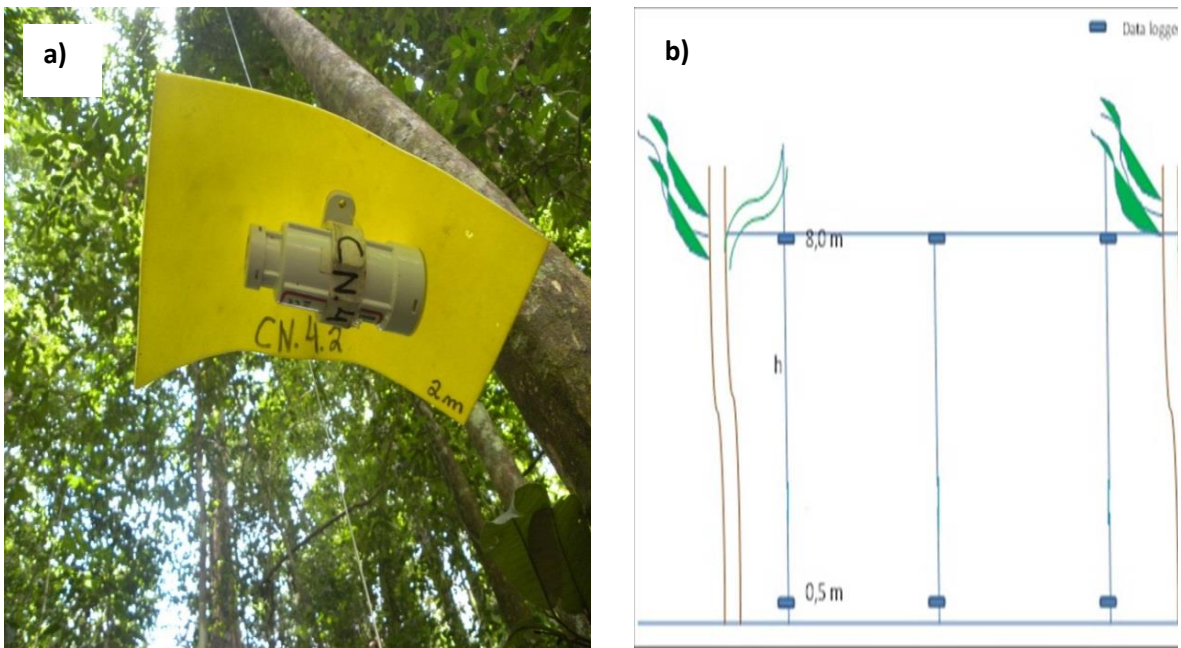
A técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) foi utilizada para medir o conteúdo volumétrico de água no solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), utilizando o sensor TDR, com orientação vertical (0-12 cm) modelo Hidrosense (*Campbell Scientific LTDA*). A técnica permite a determinação da umidade do solo por meio da relação entre a umidade e a capacidade dielétrica de um solo mineral (SIQUEIRA; VIEIRA; CAMARGO, 2008). As medições foram realizadas próximo às câmeras fixas para respiração do solo e em momento aproximado ao da medição da respiração e temperatura do solo.

4.4.3 Temperatura do ar e umidade relativa do ar

Perfis verticais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) nas alturas de 0,5 e 8,0 m acima do solo foram observados na área de experimento, buscando entender o comportamento desses parâmetros em cada sítio experimental.

Os dados foram obtidos por sensores que fazem leitura e armazenam dados em intervalos pré-estabelecidos (*datalogger* HOBO proV2), os quais foram instalados verticalmente em um ponto central em cada local de amostragem de efluxo de CO_2 no AMN e no AMA (Figura 7), mantendo-os fixos até o fim do experimento. Os aparelhos foram sustentados por fios de nylon acoplados a roldanas afixadas a galhos de árvores adjacentes (Figura 7a), exceto no centro das clareiras. O ponto para a instalação vertical dos sensores nas parcelas do centro das clareiras, tanto natural quanto a antropizada, foi sustentado por fio de nylon que atravessaram as clareiras de uma borda à outra destas, a fim de serem minimizadas interferências (Figura 7b).

Figura 7 - Disposição dos *Dataloggers* HOBO na área de experimento: a) sensor afixado dentro da floresta/ capoeira; b) sensores dispostos em dois perfis (0, 5 e 8, 0 m acima do solo) no centro da clareira.



Fonte: Do autor

Os sensores HOBO foram programados para registrar dados a cada 30 segundos durante a campanha do período de transição de estação chuvoso-seco no transecto do AMN e do AMA. Durante o período de campanha da estação seca os sensores foram programados para registrar dados a cada 10 segundos em ambos os transectos.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram usados para estimar fluxos de calor sensível e latente, utilizando o método do gradiente de fluxo, através de medida indireta, baseada na teoria de similaridade de Monin _ Obukhov. A referente teoria, diz que, a média vertical do fluxo de uma quantidade é proporcional ao gradiente vertical da quantidade no intervalo de tempo medido, sendo necessários dois níveis de medidas de temperatura e umidade relativa do ar (WESSON *et al.*, 2001; ÁVILA *et al.*, 2011).

As estimativas foram obtidas pelas equações:

$$H = \rho c_p K_H \frac{\partial T}{\partial z} \quad \text{Equação (2)}$$

$$LE = \rho_{ar} c_p L_e K_E \frac{\partial q}{\partial Z} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde, H e LE correspondem a calor sensível e calor latente, respectivamente em ($w m^{-2}$), ρ é a densidade do ar ($kg m^{-3}$), c_p é o calor do ar específico à pressão constante ($J. kg^{-1} °C^{-1}$), K_H e K_E são os coeficientes de difusão turbulenta de calor e vapor d'água ($m^2 s^{-1}$) respectivamente, sendo em uma atmosfera estável $K_H = K_E = 1$; $\partial T/\partial Z$ é o gradiente vertical de temperatura ($°C m^{-1}$), $\partial q/\partial Z$ é o gradiente vertical de umidade específica ($g m^{-1} g^{-1}$), L_e é o calor latente de evaporação. Neste estudo, consideramos a camada entre 0,5 m e 8,0 m de altura, plana e homogênea.

4.4.4 Precipitação Acumulada

Os dados foram obtidos através de uma torre micrometeorológica de aproximadamente 10 m de altura, instalada na baía de Caxiuanã, a qual faz parte do projeto Rede de Mudanças Climáticas e Ambientais do Pará: *Uma Perspectiva de Estudos Integrados (Projeto aprovado dentro do Edital 14/2009 PRONEX/FAPESPA/CNPQ)*. As coletas dos dados na torre foram feitas automaticamente de Outubro de 2012 à Setembro de 2013.

4.5 ANÁLISES DE SOLO

4.5.1 Coleta e análise química e granulométrica de amostras

Amostras simples foram coletadas em profundidades 0-20, 20-40 cm do solo dos horizontes A e AB respectivamente, próximo às câmaras de fluxo de cada parcela, para análise química e granulométrica nos locais de estudo, onde três pontos foram pré-definidos em cada parcela dos dois sítios experimentais propostos (AMN e AMA). As amostras foram coletadas utilizando um trado boca de lobo para a retirada das amostras simples e um recipiente de plástico para a homogeneização destas amostras (Figura 8). Este estudo foi feito usando a metodologia descrita por Van Raij (1991), através de análises de amostras compostas (aproximadamente 500 g) de cada profundidade por parcela, totalizando assim 10 amostras de solo para cada local de estudo.

Figura 8 - Coleta de amostras de solo no centro da área agrícola, utilizando trado boca de lobo.



Fonte: Do autor

As amostras foram colocadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e devidamente identificados para posterior análise em laboratório, as quais foram retiradas na campanha de coleta de dados do período de transição de estação chuvoso-seco, no mês de julho.

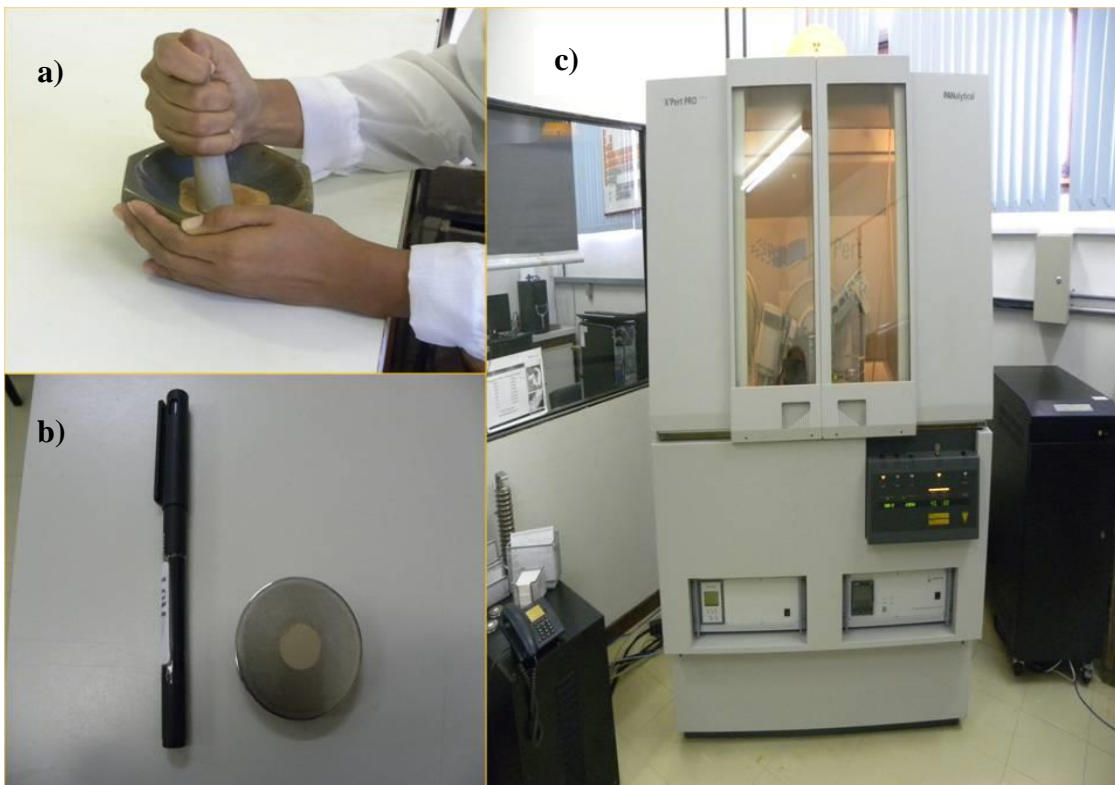
As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo a terra fina seca ao ar (TFSA), antes de serem levadas a laboratório. A análise química e a análise granulométrica foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental, seguindo a metodologia proposta por EMBRAPA (1997).

4.5.2 Coleta e análise mineralógica de amostras

Foi coletada uma amostra simples, na profundidade de 10 cm do solo, de cada parcela do transecto do AMN e do AMA, próximo às câmaras de fluxo, durante o período de transição de estação chuvoso-seco, no mês de julho, e armazenadas em sacos plásticos devidamente codificados. As amostras foram secas em estufa a 60°C, desagregadas, trituradas e pulverizadas manualmente utilizando gral de Ágata e pistilo, posteriormente foram enviadas ao Laboratório de Difração de Raio - X do Instituto de Geociências da UFPA, onde, seguindo a metodologia do pó as amostras

pulverizadas foram prensadas em um porta - amostra para compactação destas e analisadas em um difratômetro de raios-X do modelo X'Pert Pro MPD (PW 3040/60) PANalytical, com goniômetro PW3050/60(θ - θ) e com tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K_{\alpha 1} = 1,540598 \text{ \AA}$) modelo PW3373/00, foco fino longo, filtro K_{β} de Ni, detector X' Celerator RTMS (*Real Time Multiple Scanning*) no modo *scanning* e com *active length* $2,122^{\circ}$ (Figura 9).

Figura 9 - Difrátogramas de Raios-X. a) Pulverização de amostras de solo; b) Porta-amostras de solo compactado para análise; c) Difratômetro de Raios-X.



Fonte: Do autor

Para a caracterização dos minerais os difratogramas foram interpretados com auxílio do software X'pert High Score, que é um programa de identificação de fase abrangente para dados de difração de pó; E identificados por comparação dos picos encontrados com os do banco de dados do *International Center for Diffraction Data* (ICDD).

4.5.3 Carbono orgânico total

Para o estudo de carbono orgânico total, as amostras foram coletadas considerando a espacialidade em cada campanha de coleta de dados micrometeorológicos e de efluxo de CO_2 . No ambiente modificado naturalmente as amostras foram coletadas nos meses de julho e setembro de

2013, correspondendo ao período de transição de estação chuvoso-seco e período seco, respectivamente. No ambiente modificado antropicamente as amostras foram coletadas em julho e outubro de 2013, equivalendo ao período de transição da estação chuvoso-seco e período seco.

Dentro de cada parcela, de cada sítio experimental, três pontos foram predefinidos visualmente, abrangendo cada parcela em forma de um triângulo, para a retirada de amostras simples do horizonte A e B às profundidades de 10 e 20 cm (horizonte A) e 50 cm do solo (horizonte B), utilizando um trado boca de lobo. No total foram coletadas 180 amostras de solo, correspondentes aos dois sítios experimentais.

As amostras foram hermeticamente fechadas, devidamente identificadas e enviadas ao laboratório. Após secas em estufa a 60 °C, dez gramas das amostras foram pesadas em balança analítica e pulverizadas manualmente utilizando gral de Ágata (almofariz pequeno) e pistilo. Posteriormente as amostras foram colocadas em tubetes de vidro e submetidas à estufa a 100 °C para a eliminação de toda umidade das amostras de solo adquiridas durante o processo de pulverização das mesmas. Sequencialmente foram depositadas em barquinhas de porcelana e pesadas em balança analítica até atingir 0,7 a 0,8 gramas de solo, de cada amostra, e colocadas em um dessecador com tampa com graxa de silicone para o fechamento hermético do recipiente contendo agente dessecante sílica em seu interior, onde permaneceram esfriando até o momento da análise.

O carbono orgânico total do solo foi analisado utilizando o equipamento analisador de carbono orgânico total (COT) Analytik Jena modelo multi N/C 2100/ 2100 S com módulo HT 1300, e o gás de arraste utilizado foi ar ultrapuro sintético (Figura 10). Os cálculos do carbono orgânico total foram realizados com auxílio do software Multi Win.

Figura 40 - Análise do Carbono Orgânico Total. a) Equipamento analisador de COT, da Analytik Jena modelo multi N/C 2100/2100 S; b) Barquinha de porcelana com amostra de solo; c) Forno HT 1300 para sólidos com alta temperatura para COT/CT.



Fonte: Do autor

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a procedimentos analíticos buscando a interpretação estatística, através do software Microsoft Excel, para investigar a influência das variáveis ambientais sobre efluxo de CO₂, mediante sazonalidade da região e a espacialidade a qual foi submetido o experimento.

Foram aplicadas estatísticas descritivas nas variáveis de solo e nas variáveis micrometeorológicas, tais como média, desvio padrão, erro padrão, valores máximos e mínimos dos dados coletados. A correlação de Pearson (r) foi utilizada para verificar o relacionamento linear entre a temperatura do solo e a umidade do solo com o efluxo de CO₂. Desta forma foi possível medir o grau e a direção dessa correlação (se positiva ou negativa), um indicativo da existência de associação linear entre duas variáveis aleatórias, para um nível de significância de 99% ($\alpha = 0,01$).

Em estudos envolvendo duas ou mais variáveis é comum o interesse em conhecer o grau de relacionamento entre elas, que pode ser medido através do coeficiente de correlação, também conhecido como medida de associação, de interdependência, de intercorrelação ou de relação entre

as variáveis. A correlação é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis (GARSON, 2009) que varia no intervalo de -1 até +1, capaz de mensurar a direção e o grau da relação linear entre as variáveis quantitativas (MOORE, 2007). Valores próximos de +1 indicam forte correlação direta entre as variáveis, ou seja, à medida que uma determinada grandeza física cresce ou diminui em sua magnitude a outra apresenta a mesma tendência, enquanto que valores próximos de -1 indica forte correlação inversa, ou seja, as grandezas físicas apresentam comportamentos contrários. Valores em torno de zero indicam ausência de correlação.

A correlação de Pearson é um método que fortemente é influenciado pela média da distribuição (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JÚNIOR, 2009), representada pela fórmula abaixo.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: r é o coeficiente de correlação de Pearson, n é o número de dados observados, x_i e y_i representam o valor da observação de cada variável; \bar{X} e \bar{Y} representam a média e s_x e s_y indicam o valor do desvio padrão.

O coeficiente de variação foi verificado a partir do desvio padrão de todas as câmaras de respiração do solo em cada data de medida pelo efluxo médio de CO₂ do solo da medição dada, para cada sítio experimental e em cada período estudado, assim demonstrado na equação abaixo.

$$CV(X) = CV_X = \frac{s}{\bar{X}} 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: CV é o coeficiente de variação, X é a variável ambiental, s é o desvio padrão e \bar{X} é a média da variável ambiental.

Para o conjunto de dados separados por períodos sazonais foi realizado o teste T, que avalia a significância estatística da diferença entre duas médias de amostras independentes, a fim de verificar a diminuição ou aumento progressivo do efluxo de CO₂ do solo em cada período estudado, para um nível de significância de 99% ($\alpha = 0,01$); Sendo um caso especial de análise de variância (ANOVA), que permite identificar quão grande deve ser o valor t para se considerar a diferença estatisticamente significativa, ou seja, a diferença não é causada pela variabilidade amostral (HAIR *et al*, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

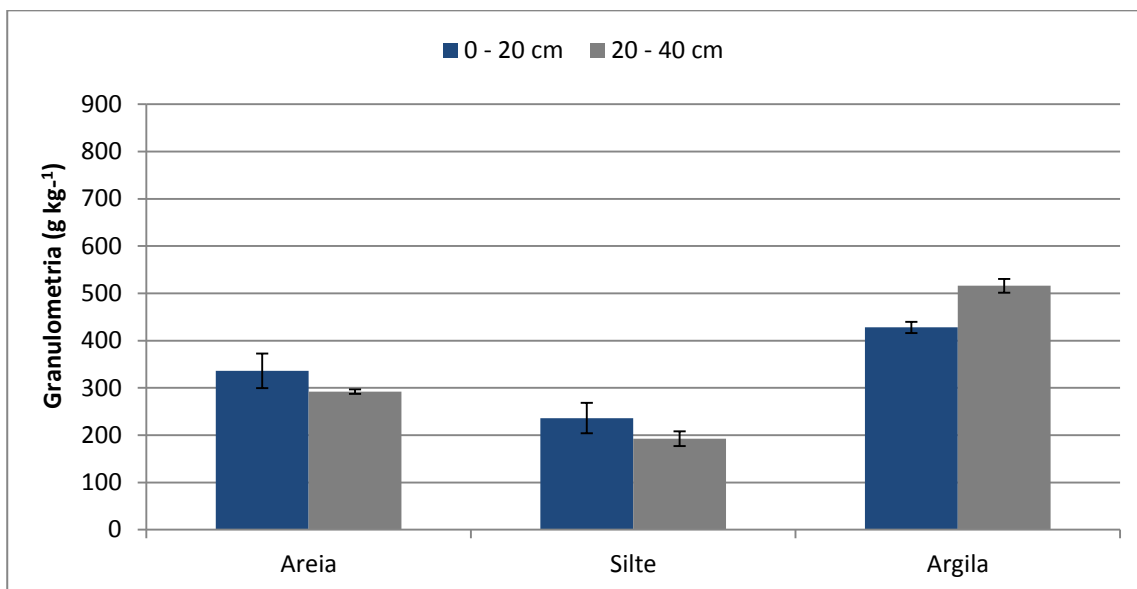
5.1 AMBIENTE MODIFICADO NATURALMENTE (AMN)

5.1.1 Descrição do local

A clareira natural de 464 m², selecionada no estudo, foi considerada uma clareira grande de acordo com os padrões apresentados por Viana (1989), e classificada como recente, havendo ainda vestígios de galhada, porém em nível avançado de decomposição da copa.

Referente ao solo do sítio experimental (AMN), a partir de estudos granulométricos do solo, foi constatado que há predominância da fração argila sobre as demais frações (areia e silte) (Figura 11), evidente em todas as parcelas do AMN, incluindo o centro da clareira natural. A concentração de argila encontrada no solo foi de 400 a 540 g kg⁻¹ (40,0 – 54,0%), a concentração de areia foi na ordem de 197 a 395 g kg⁻¹ (19,7 – 39,5%) e silte de 173 a 363 g kg⁻¹ (17,3 – 36,3%) sendo este, portanto, classificado como um solo de textura argilosa, o que está de acordo com Costa *et al.*, 2009, entretanto diferente dos resultados apresentados por Ruivo e Cunha (2003). As concentrações de argila foram mais elevadas na profundidade de 20–40 cm do solo e os teores de areia e silte se mostraram menores em relação aos teores de argila e apresentaram maiores concentrações nas camadas mais superficiais do solo em profundidade de 0–20 cm.

Figura 11: Granulometria do solo do AMN



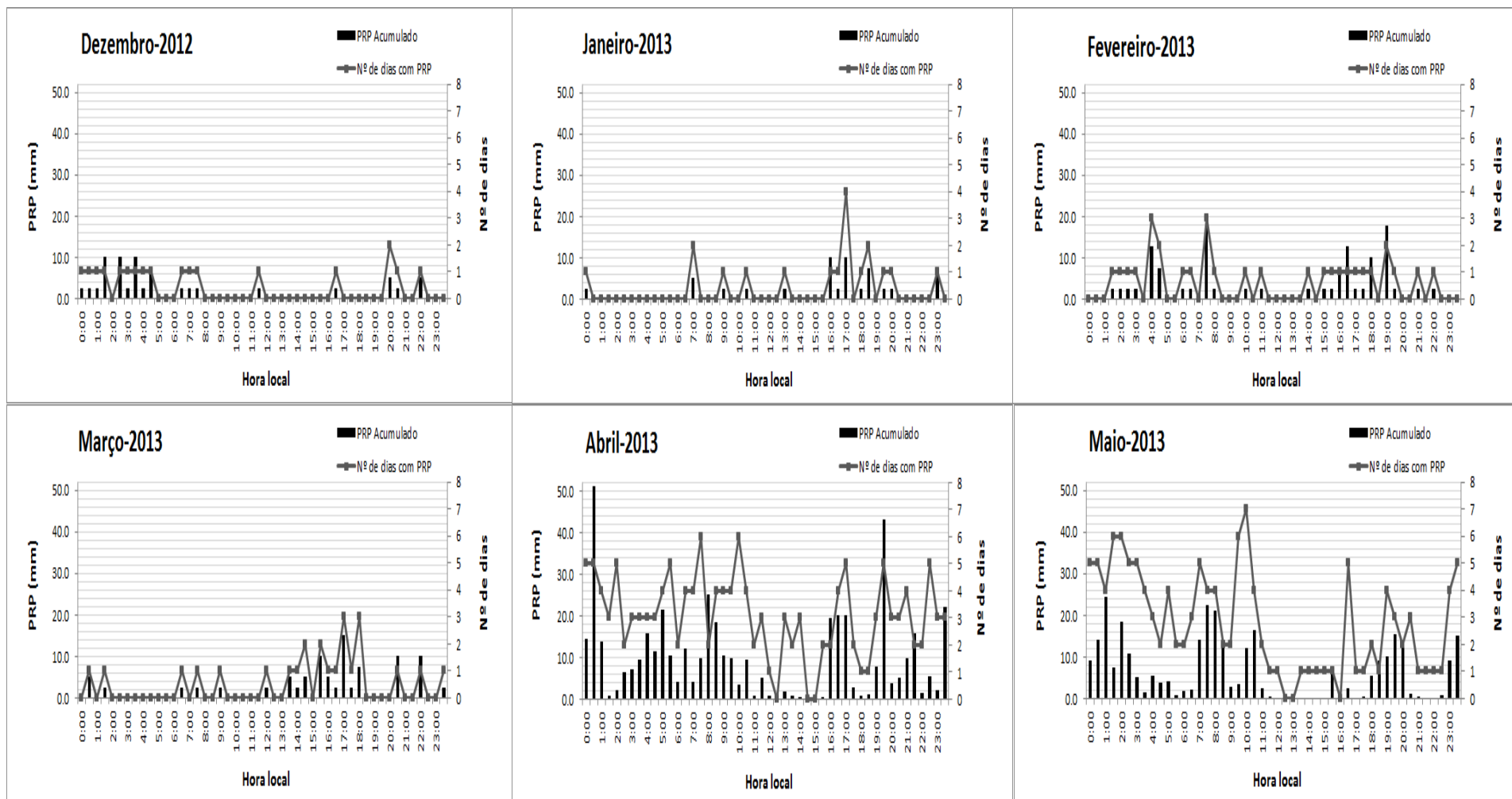
Fonte: Do autor

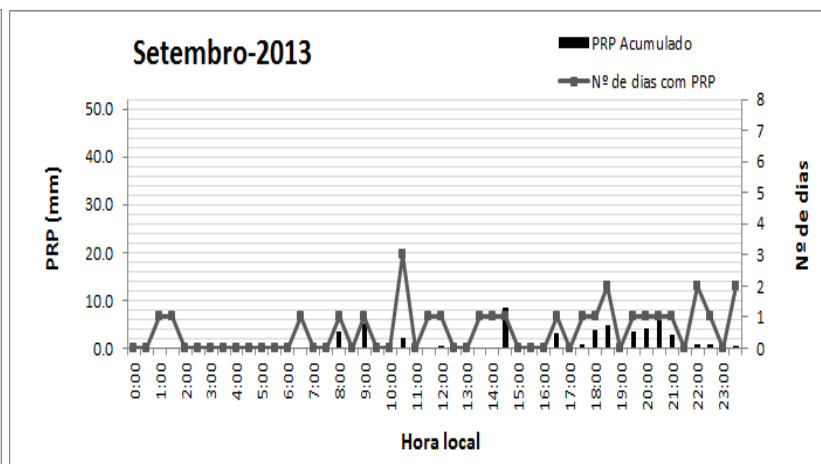
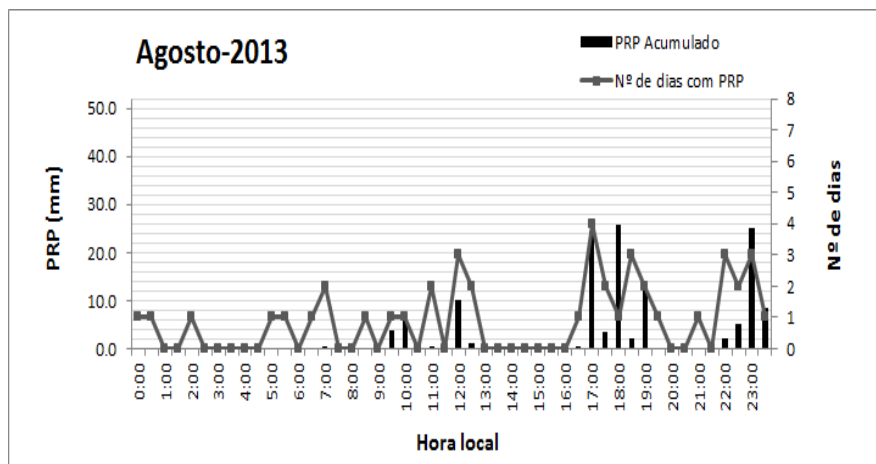
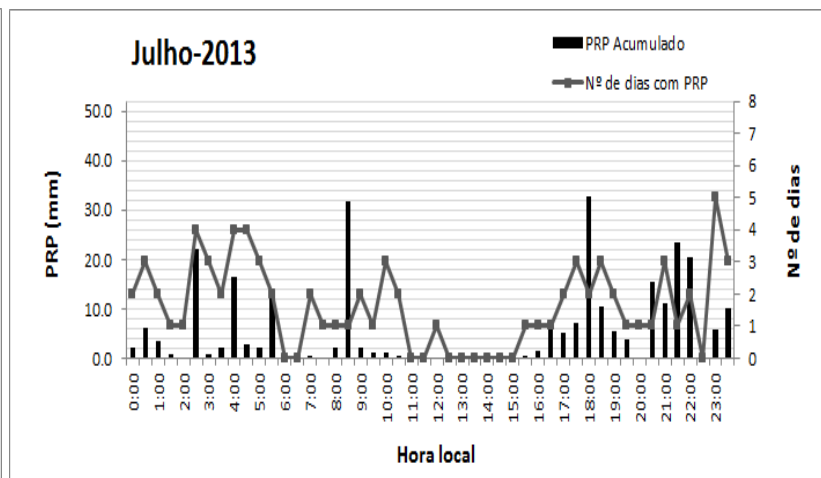
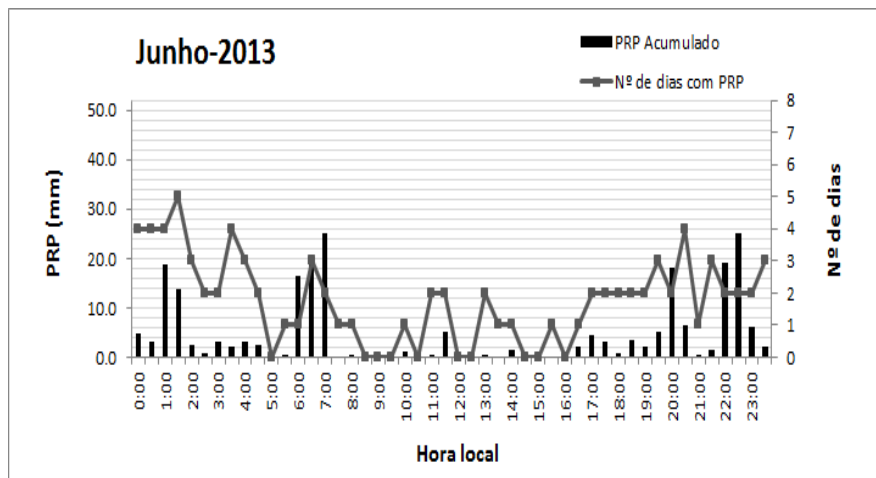
O quartzo e a caulinita foram os minerais identificados na área apresentando leves diferenças na intensidade destes tanto em parcelas da floresta com dossel fechado, quanto às da bordadura e as do centro da clareira. Maiores teores de caulinita foram encontrados no centro da clareira e na bordadura da clareira no sentido leste em relação às demais parcelas. A paragênese mineral indica ausência de mineral carbonático no solo do sítio experimental modificado naturalmente (exemplo calcita, CaCO_3).

A análise química do solo do AMN indica baixa fertilidade do solo com baixos valores de CTC e soma de bases trocáveis, encontrados nas duas profundidades estudadas, o qual apresentou caráter distrófico (7,0 % a 10,6 %), com baixa saturação de base $V < 50\%$, evidenciando assim a baixa capacidade, deste solo, em reter nutrientes em condições naturais de pH no solo, fato característico de solos originados de sedimentos argilosos. O solo evidencia condições ácidas, com baixos valores de pH em água variando de 4,0 a 4,5. Para Lima, Oliveira e Aquino (1999) e Simões *et al.* (2009) este fato, pode provavelmente estar relacionado à excessiva drenagem e consequente perda de bases do perfil, devido a condições de pluviosidade elevada. Maiores teores de matéria orgânica (22,2 a 30,2 g kg^{-1}) puderam ser observadas na P1 e P5 a 20 cm do solo, ou seja, na camada mais próxima a superfície, sob as áreas de dossel mais fechado. Em estudo sobre atributos químicos e físicos em solos do baixo Amazonas, Marques *et al.* (2010) constataram que o teor de matéria orgânica decrescia com a profundidade, uma vez que, as maiores concentrações encontradas na superfície deve-se à incorporação de resíduos vegetais no solo, possivelmente, também, devido a este fator, a menor concentração de MO foi encontrada na parcela do centro da clareira natural (15,6 g kg^{-1}) na profundidade de 20–40 cm do solo, onde havia menor cobertura de resíduos vegetais no solo se comparado às outras parcelas, mesmo durante o período seco.

A Figura 12 apresenta o padrão de precipitação acumulada (PRP) para o período correspondente de um ano (Outubro de 2012 à Setembro de 2013) na FLONA de Caxiuanã em intervalos de 30 minutos, bem como o número de dias com precipitação para cada horário (hora local), sendo que neste período choveu um total de 1.820,0 mm. Os meses de outubro a novembro de 2012 não apresentaram nenhum evento de chuva na FLONA, neste sentido os gráficos não foram apresentados. Observam-se maiores volumes de chuva no período que vai de abril até junho (período chuvoso), e menores volumes entre julho e novembro (período seco). O acumulado de PRP para o período chuvoso se aproximou de 1.000,0 mm, mais da metade do acumulado de chuva observado em todo período de estudo. No entanto, o período seco não ultrapassou 460,0 mm. Fica evidente a redução de chuvas entre os períodos chuvoso e seco.

Figura 12 - Precipitação horária acumulada e número de dias com Precipitação referentes ao período de um ano na FLONA de Caxiuanã.





Fonte: Do autor

Pode-se notar que em alguns meses a PRP ocorre em um mesmo horário em um número grande de dias, entretanto nem sempre quando existem mais eventos de chuva o volume é maior em relação aos outros horários (Figura 12). Um exemplo disto é o mês de Abril às 10h00min, onde pode-se notar muitos eventos de chuva mas com um volume reduzido de PRP, em comparação com o mês de julho, às 08h30min, onde foi observado um pequeno número de eventos de chuva, mas com maior volume de PRP.

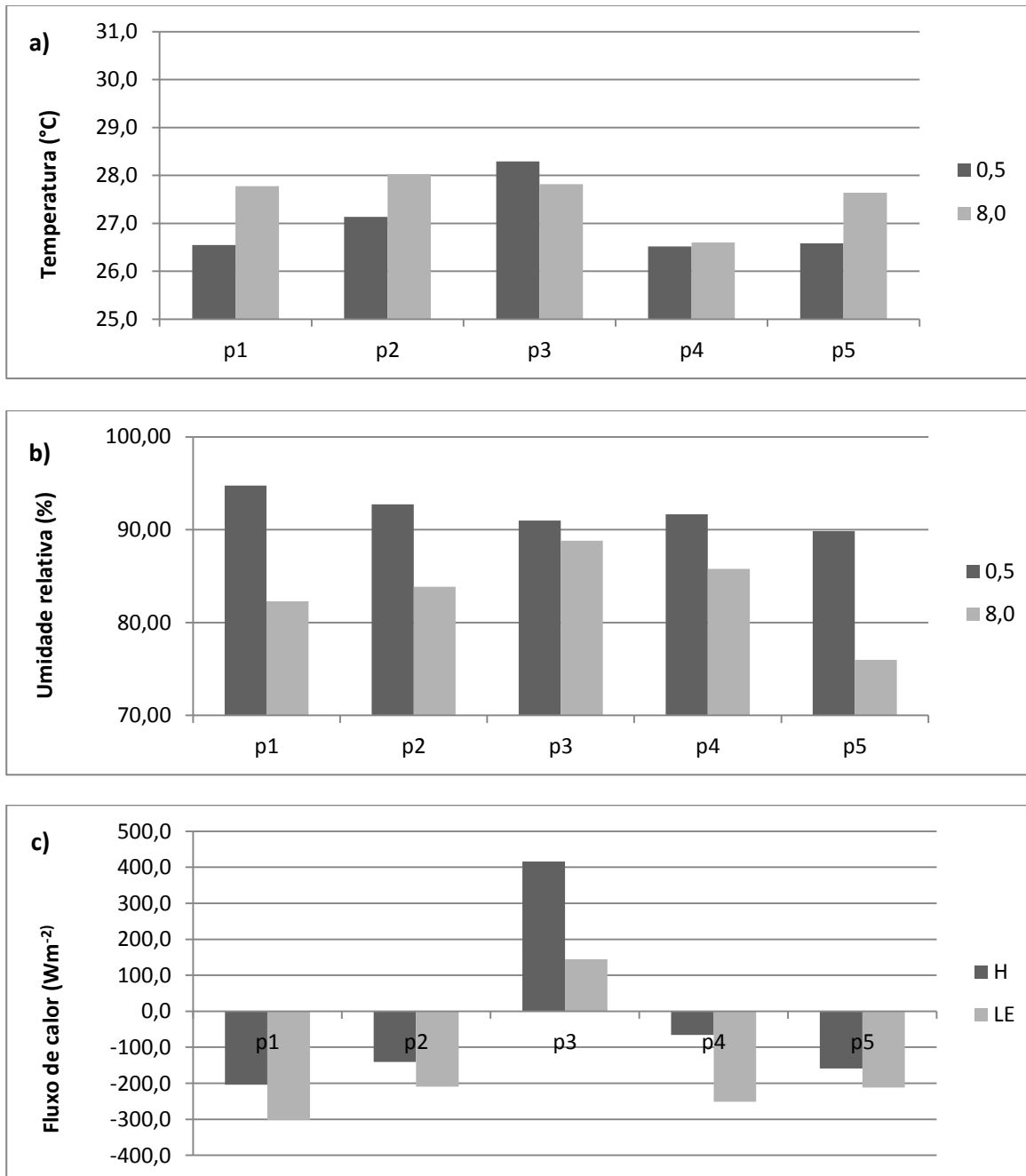
5.1.2 Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, calor latente e calor sensível no AMN.

O comportamento foi observado em período diurno, com médias referentes aos dias 15, 16, 17 e 18 de julho, durante as medições em campo de efluxo de CO₂ à altura de 0,5 e 8,0 m acima do solo (Figura 13).

Quando comparamos os pontos estudados no mês de julho (intersazonal), os que ficam dentro da floresta primária (P1 e P5) tiveram um comportamento semelhante no que tange a análise da temperatura e umidade relativa, entretanto se diferenciaram em termos de calor sensível (H) e calor latente (LE), aquele usado para aquecer o ar e para vaporização, respectivamente, os quais ficaram em média menos negativo no ponto a oeste da clareira. Este resultado mostra um evidente movimento de calor e de vapor d'água da clareira para dentro da floresta nas camadas mais próximas do solo.

Os dois pontos a margem da clareira (P2 e P4), sendo que o P2 apresentou comportamento semelhante ao ponto P1, em termos de temperatura e umidade relativa, as camadas mais altas do dossel apresentaram maiores valores de temperatura e menores valores de umidade relativa. Entretanto, em P4, na borda a oeste da clareira, os valores de temperatura ficaram nas duas alturas praticamente iguais, mas a umidade relativa apresentou comportamento semelhante aos outros pontos (P1, P2 e P5). O que chama a atenção é o comportamento de H e LE nestes dois pontos, os quais estão claramente sendo influenciados pelo calor que chega ao solo da clareira, principalmente no que se refere ao calor sensível que apresentaram máximas elevadas em comparação a P1 e P5, os quais se localizam dentro da floresta.

Figura 5 - Representação gráfica do comportamento dos fatores microclimáticos no AMN, mês de julho: a) temperatura do ar (°C); b) umidade relativa do ar (%) e c) fluxo de calor sensível e calor latente (W m^{-2}).



Fonte: Do autor

Ao analisar o centro da clareira (P3) verificou-se que apresenta temperaturas médias mais elevadas na altura de dossel mais próxima do solo em comparação a altura de 8,0 m de dossel, padrão bem distinto dos outros pontos analisados. Entretanto a umidade relativa se comportou semelhantemente aos outros pontos analisados.

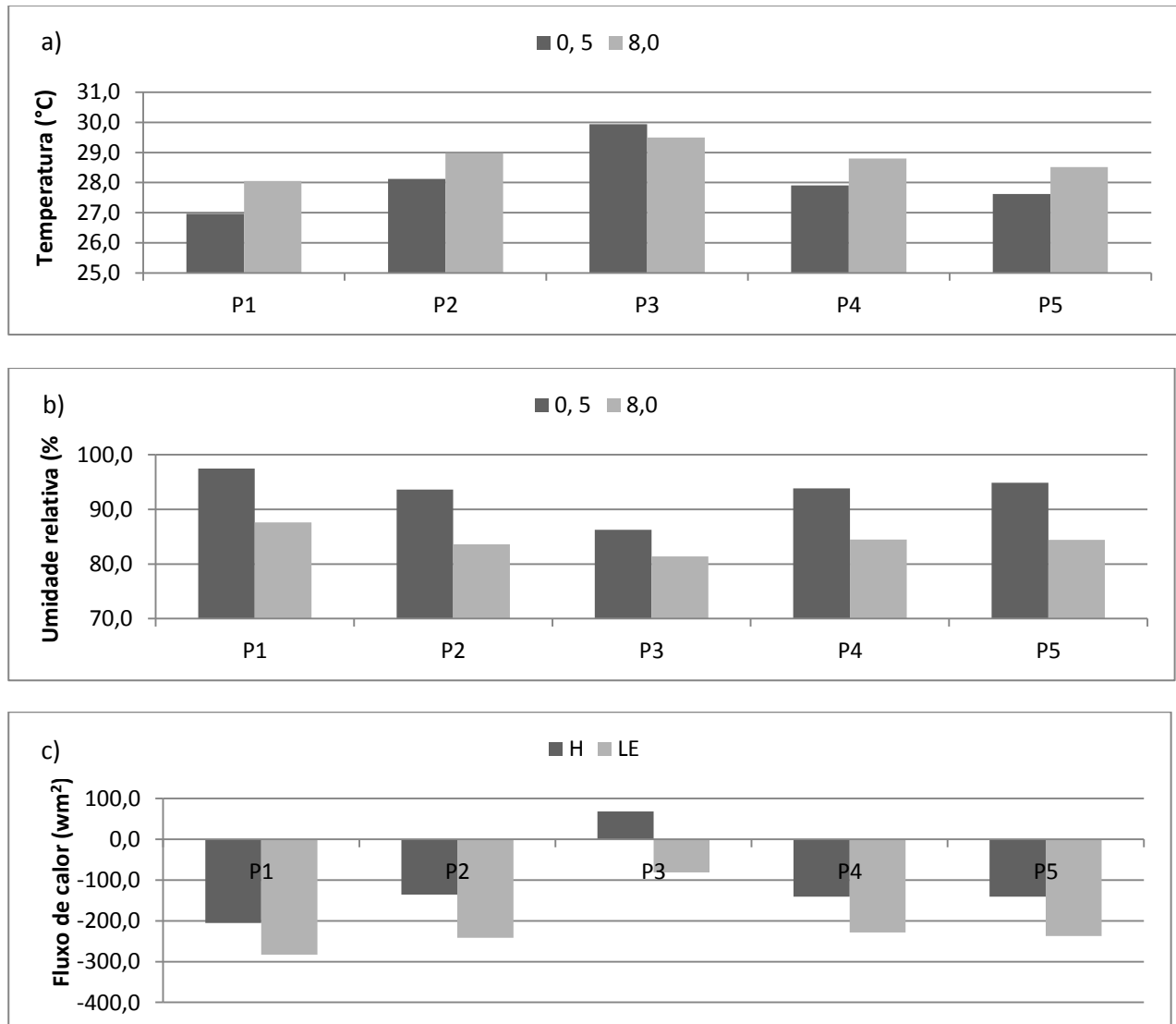
As maiores temperaturas do AMN foram observadas a 8,0 m de altura do solo, com valores médios que variaram de 26,0 a 28,0 °C em todas as parcelas, com exceção à P3, parcela do centro da clareira, que apresentou valor médio de $28,3 \pm 2,6$ °C, com mínima de 25,3 e máxima de 32,4 °C a 0,5 m do solo (Figura 13a).

A umidade relativa do ar apresentou um comportamento de decréscimo com a altura, onde os menores valores de umidade foram observados a altura de 8,0 m do solo, em todas as parcelas. Com o afastamento da clareira, em parcelas com dossel fechado e as da bordadura da clareira notou-se que a umidade aumentou em ambas as alturas e em ambos os sentidos (leste e oeste) (Figura 13b). O perfil a 8,0 foi o que apresentou as maiores variações de umidade, quando comparado ao perfil a 0,5 m do solo.

Observa-se que o fluxo de calor sensível e calor latente a uma camada de 0,5 a 8,0 m do solo nas parcelas sob vegetação (P1, P2, P4 e P5) oscilam entre -66,0 e -300,0 W m², respectivamente, sendo considerados relativamente baixos. Tais padrões de fluxos de calor são semelhantes aos de período noturno, cuja demanda atmosférica é mais rarefeita/ mais estável. Em contra partida, no P3, os valores de calor sensível são mais positivos, com média de 416,1 W m² (Figura 13c), devido a incidência solar ser maior sobre esta área, isto é condizente aos estudos realizados por Souza Filho *et al.* (2005) e Dantas *et al.* (2011). O calor latente apresentou no P3 o maior valor médio em relação às demais parcelas do ambiente (144,5 W m²) em função do aumento de energia disponível para processos físicos e químicos, nesta área (Figura 13c).

A Figura 14 apresenta variáveis ambientais micrometeorológicas durante período seco, no mês de setembro, onde foi observado variações no comportamento das variáveis em relação ao período de transição de estação chuvoso-seco. As maiores temperaturas ocorreram a 8,0 m do solo e as menos elevadas foram observadas a 0,5 m de altura, sendo menores devido à radiação ser mais difusa neste perfil. Na média as temperaturas registraram valores que variaram de 27,0 a 29,9 °C em ambos os perfis estudados. A 0,5 m do solo ocorreu baixa variabilidade da temperatura nas parcelas P1, P2, P4 e P5, com médias que flutuaram em torno de 27,0 a 28,0 °C, como podemos observar na Figura 14a. Valores aproximados foram encontrados em um ecossistema de manguezal no nordeste do Pará, onde valores médios de temperatura do ar a 0,5 m de altura foram na ordem de 28,1 °C. A P3 apresentou as mais altas temperaturas, em relação às demais parcelas e em ambos os perfis, com $29,9 \pm 3,0$ °C (36,5 e 25,7 °C) a 0,5 m e $29,5 \pm 1,8$ °C (32,6 e 26,0 °C) a 8,0 m, o que já era esperado por ser a área mais exposta à radiação solar direta.

Figura64 - Representação gráfica das variáveis ambientais, no mês de setembro, período seco, no AMN. a) temperatura do ar (°C); b) umidade relativa do ar (%) e c) fluxo de calor sensível e calor latente ($w m^{-2}$).



Fonte: Do autor

Em decorrência da elevada temperatura na estação seca, no centro da clareira a média da umidade relativa do ar foi menor, apresentando média de $86,3 \pm 10,0\%$ (máxima 98,8% e mínima 64,3%) a 0,5 m e $81,4 \pm 7,9$ a 8,0 m de altura do solo. Onde pudemos observar uma elevação na umidade do ar à medida que a área experimental apresentava maior cobertura do dossel da floresta (Figura 14b). Tais valores diferiram dos observados em uma floresta de transição entre a Amazônia e o Cerrado, onde a média da umidade relativa na estação seca foi de 70,3% (VILANI *et al.*, 2006).

No mês de setembro onde houve os menores índices de precipitação na região de Caxiuanã (Figura 12) o comportamento médio da temperatura do ar foi o mesmo em todos os pontos analisados, com exceção da P3, onde a temperatura nas alturas 0,5 e 8,0 não variaram, sendo que

nas outras parcelas (P1, P2, P4 e P5) a temperatura foi sempre maior na altura de 8,0 m de dossel. Mesmo padrão apresentado para a umidade relativa, entretanto os valores encontrados foram maiores na altura mais próxima do solo (0,5 m), sendo que este não diferenciou na P3, ou seja, no centro da clareira.

O comportamento de H e LE, existindo um aumento dos valores médios quando comparamos P1 com P2 e P3, respectivamente. Já nas parcelas P4 e P5, as quais estão a oeste da clareira (P3) os valores parecem não diferenciar, mostrando mais uma vez que mesmo nos meses de menor precipitação existe uma influencia da clareira nos pontos a oeste da mesma. Entretanto, é importante observar que foram encontrados valores máximos positivos de H para P3, P2, P4 e P1, respectivamente, e também positivos para LE nas parcelas P3, P2 e P1, respectivamente. Ou seja, os resultados parecem indicar um fluxo de calor latente e sensível do solo para atmosfera, em alguns momentos no mês onde se caracteriza o período seco.

Contudo H e LE se diferem extremamente em comparação ao mês de transição entre o período chuvoso e seco. Apesar dos valores médios serem parecidos na comparação entre os meses, este se comporta muito maior para H e LE quando avaliamos as máximas no período seco, indicando que em todas as parcelas analisadas, que não estava a oeste da clareira, existiu fluxo de calor sensível e latente do solo para a atmosfera.

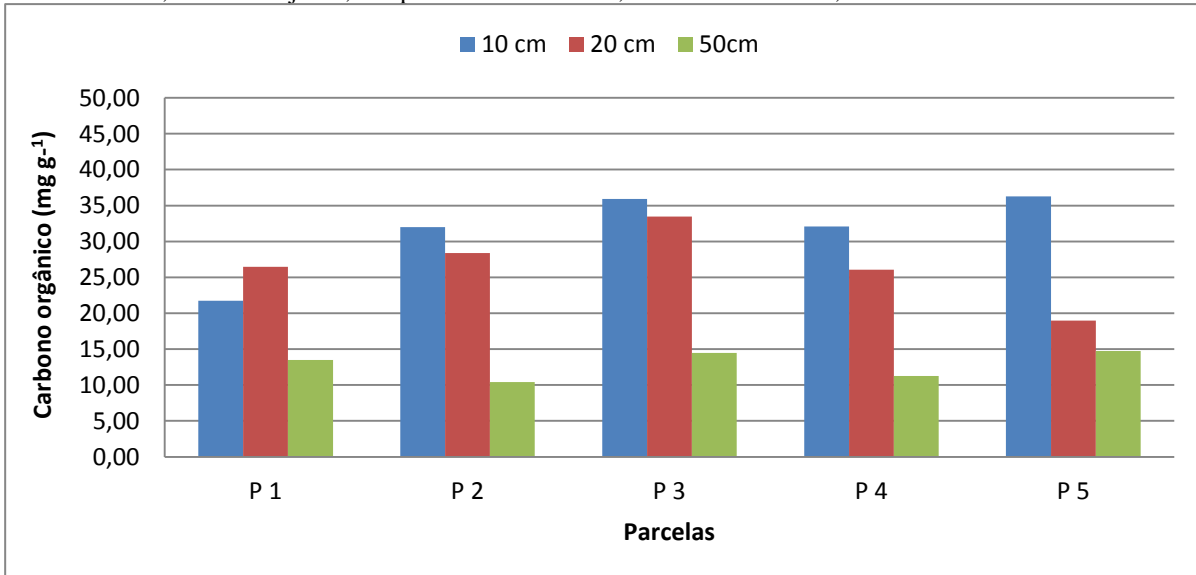
O comportamento do calor sensível e calor latente estão representados graficamente na Figura 14c no período seco, onde nota-se que há uma relação entre a variação da temperatura e o fluxo de calor sensível, os maiores valores de H foram observados na P3, com média de $68,1 \pm 230,6 \text{ w m}^2$ (máxima de 604,6 e mínima de $-122,4 \text{ w m}^2$), parcela onde foram registradas as mais altas temperaturas do ar. O fluxo de calor latente foi mais intenso no P3, apresentando valor médio de $-81,1 \text{ w m}^2$ ($-397,7$ e $345,0 \text{ w m}^2$), o qual apresentou variação devido a espacialidade ao diminuir com o afastamento da clareira.

5. 1. 3 Comportamento do carbono orgânico total (COT)

Teores de carbono orgânico total do AMN foram observados no mês de julho, (Figura15). Altas concentrações de carbono orgânico total foram detectados na camada mais superficial do solo (profundidade de 10,0 cm), com exceção na P1, que apresentou apenas $21,7 \text{ mg g}^{-1}$ de COT, exibindo maiores teores a 20 cm de profundidade ($26,4 \text{ mg g}^{-1}$). A parcela P5 e a P3 foram as que apresentaram maiores concentrações de orgânico nos primeiros 10 cm de solo, seguidos das parcelas que ficam na bordadura da clareira (P2 e P4). Na profundidade de 10-20 cm as

concentrações de carbono orgânico foram maiores na parcela que se localiza na clareira (P3) seguido das parcelas da borda (P2 e P4) e a que fica a leste da clareira (P1). Abaixo, na profundidade de 50 cm, a concentração de carbono orgânico parece não variar significativamente.

Figura 7 - Concentrações de carbono orgânico total em mg C g^{-1} de solo, durante o regime de transição de estação chuvoso- seco, no mês de julho, nas profundidades de 10, 20 e 50 cm do solo, no AMN.



Fonte: Do autor

Notadamente a clareira apresenta uma maior concentração de carbono orgânico nos primeiros 20 cm da superfície do solo (Figura 15), este aumento de carbono no solo indica uma positiva interferência da clareira na melhoria da fertilidade do solo. Entretanto, o mais interessante é que as bordaduras também apresentam uma elevada concentração de carbono nesta mesma camada e a parcela que fica a oeste da clareira, dentro da floresta (P5), apresenta uma elevada concentração de carbono nos primeiros 10 cm de profundidade (Figura 15). Como foi mostrado acima, nos meses onde os índices de pluviosidade são elevados, parece existir um transporte de calor para dentro da floresta, indo da clareira para oeste no mesmo sentido do vento. Este transporte de calor para dentro da floresta pode estar influenciando no aumento de queda de serrapilheira ao longo dos anos após a abertura da clareira e com isto aumentando a concentração de carbono nos primeiros centímetros de solo.

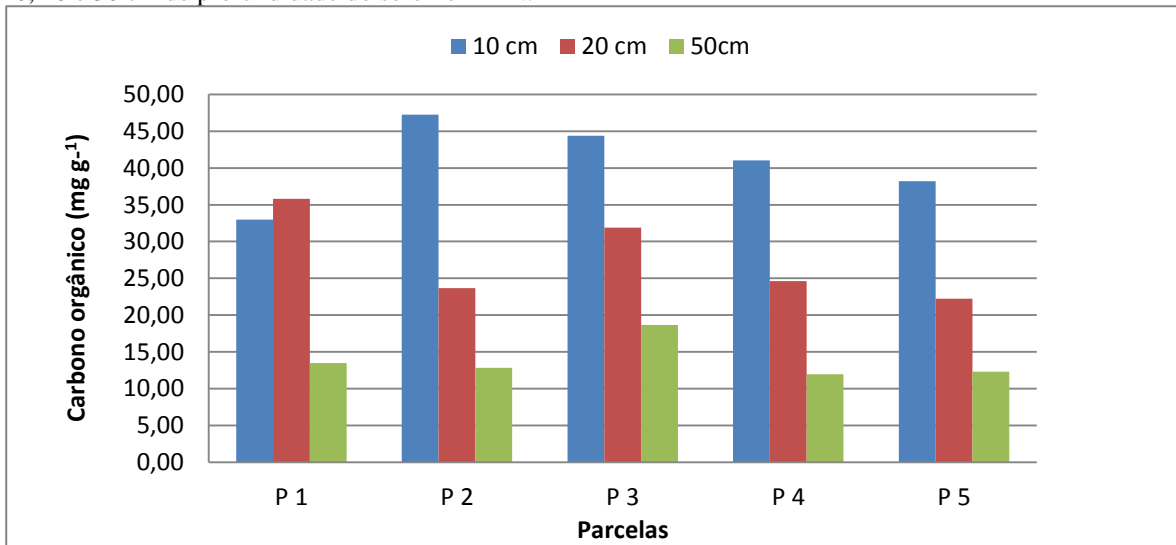
A parcela da floresta sob dossel fechado, no sentido oeste (P5) e a parcela do centro da clareira (P3), apresentaram concentrações de $36,3$ e $35,9 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente. Esta última possivelmente por haver uma leve depressão no centro da clareira podendo estar recebendo e depositando sedimentos orgânicos e inorgânicos das áreas ao entorno, ocasionados por escoamento

superficial do solo pela água da chuva, havendo ainda neste local, muitos vestígios de galhadas e troncos em diferentes estágios de decomposição. Segundo Moreira e Costa (2004) a revegetação de áreas de clareira aumentam significativamente o teor de matéria orgânica e o conteúdo da biomassa microbiana do solo, a partir do quarto ano de idade. Segundo Demattê e Demattê (1993) quando em estudo comparativo entre solos da Amazônia e do cerrado, encontraram baixa correlação entre o teor de carbono orgânico e argila nos solos Amazônicos, contudo sugeriram que apesar da grande variação entre os dados da região, há uma tendência do teor de carbono orgânico aumentar com o teor de argila, mineral predominante na área de estudo, principalmente nas camadas a 10 cm do solo.

Baixos teores de carbono orgânico total (COT) foram encontrados a 50 cm de profundidade do solo, com valores que variaram de 10,4 a 14,8 mg g⁻¹, principalmente nas parcelas da bordadura da clareira, em sentido leste (P2) e oeste (P4), evidenciando um gradativo decréscimo das concentrações de COT com a profundidade do perfil, uma vez que, os teores de carbono orgânico diminuem à medida em que aumenta a profundidade, sendo este fato atribuído à redução de MO com a profundidade (CALDEIRA *et al.*, 2003).

Durante o período seco, houve um aumento da concentração de COT no sítio experimental modificado naturalmente (Figura 16) em relação ao observado na área quando em transição de estação chuvoso–seco. Maiores teores foram encontradas a 10 cm de profundidade, com concentrações que variaram de 33,0 a 47,3 mg g⁻¹ de carbono no solo, com exceção à parcela da floresta sob dossel fechado em sentido leste (P1), onde foram observadas concentrações de 35,8 mg g⁻¹ de carbono a 20 cm de profundidade. Teores mais baixos foram observados a 50 cm de profundidade do solo, em todas as parcelas do transecto, com concentrações que variaram de 12,0 a 18,7 mg g⁻¹.

Figura 8 - Concentrações de carbono orgânico total em mg g^{-1} , durante o período seco, no mês de setembro a 10, 20 e 50 cm de profundidade do solo no AMN.



Fonte: Do autor

Contrastando o comportamento das concentrações de COT no período de transição de estação, as parcelas P2 e P4, apresentaram, juntamente com o centro da clareira, as mais altas concentrações de COT com 47,3 e 41,0 mg g^{-1} a 10 cm do solo, respectivamente, podendo ter sido ocasionado, dentre outros fatores atuantes, pela redução do escoamento superficial destas áreas com a diminuição do regime de chuvas no período seco.

No período mais seco, o carbono orgânico aumenta nas primeiras camadas de solo (Figura 16) em todas as parcelas analisadas, em comparação ao período de transição (Figura 15), sendo que este aumento é relativamente maior nos primeiros 10 cm de profundidade. O que notadamente difere do mês de transição do período chuvoso para o período seco é que se observa um aumento considerado na produção de carbono orgânico nas parcelas da clareira (P3) e nas bordaduras (P2 e P4). Outro fator importante a se ressaltar é que parece continuar o fluxo de calor para dentro da floresta, a oeste da clareira, como se pode notar na alta concentração de carbono orgânico do solo nos primeiros 10 cm na parcela P5 (Figura 16). Na parcela P1, a qual fica a leste da clareira, é importante ressaltar que também houve um aumento na concentração de carbono orgânico do solo, entretanto com uma maior ênfase na camada abaixo de 20 cm. Estudos em Caxiuanã mostram que a produção de serrapilheira é maior durante o final da estação chuvosa (Maio e Junho), e menor nos meses com maior precipitação (SOTTA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2009). Para Silva *et al.* (2007) a produção de serrapilheira durante o período seco é influenciada pelo estresse hídrico, podendo ser uma resposta da vegetação, que com a derrubada de folhas reduziria a perda de água por transpiração. Neste sentido é de se esperar uma maior quantidade de carbono orgânico no solo nos

meses de menor precipitação, advindo da decomposição da serrapilheira que chegou a superfície do solo no final da estação chuvosa.

5.1.4 Comportamento do efluxo de CO₂ do solo, temperatura do solo (Ts) e umidade do solo (Us).

A média e o desvio padrão do efluxo de CO₂ das parcelas do AMN em período de transição de estação chuvoso–seco, no mês de julho de 2013 está exposto na Tabela 3, separados por intervalos de horário e por parcelas. A parcela P2 apresentou o menor efluxo do transecto, com média de $6,0 \pm 1,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no período da manhã e $6,2 \pm 1,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no período da tarde. As parcelas P1 e P5 apresentaram valores médios de efluxo superiores às demais parcelas, com médias de $7,0 \pm 1,9$ e $11,6 \pm 2,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente pela manhã, uma vez que nestas parcelas há maiores concentrações de biomassa de raízes e biomassas microbianas e microfaunianas do solo, sendo estes os fatores que também influenciam no efluxo de CO₂ do solo, assim como a Ts e a Us (ADACHI *et al.*, 2006; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2013).

Tabela 7 - Média e desvio padrão do efluxo de CO₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em julho de 2013 no AMN, FLONA Caxiuanã.

Hora	P1	P2	P3	P4	P5
08 – 13h	$7,0 \pm 1,9$	$5,9 \pm 1,9$	$6,2 \pm 2,4$	$6,6 \pm 1,7$	$11,6 \pm 2,2$
13 – 18h	$7,3 \pm 2,5$	$6,2 \pm 1,5$	$7,1 \pm 3,2$	$7,9 \pm 2,6$	$11,8 \pm 2,8$

Fonte: Do autor

No sentido oeste, no período da manhã e da tarde houve um aumento no valor médio do efluxo de CO₂ com o afastamento da clareira, possivelmente ocasionado pelo maior acúmulo de serrapilheira no piso florestal devido à cobertura mais densa no dossel e pelo transporte geográfico do efluxo favorecido pelo transporte aéreo oriundo dos ventos de leste através da atuação de circulações locais no período seco em Caxiuanã (SOUZA JUNIOR e COHEN, 2008). Do período das 13h as 18h ocorreu um pequeno aumento do efluxo médio de todas as parcelas, principalmente nas parcelas da bordadura no sentido leste e oeste, com $6,2 \pm 1,5$ e $7,9 \pm 2,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, se comparados ao período da manhã.

Com exceção da P1, os efluxos de CO₂ acompanham a concentração de carbono orgânico no solo nos primeiros 10 cm e o movimento do calor na atmosfera acima do solo, ou seja, existe um aumento do efluxo de CO₂ da borda a leste da clareira (P2) indo no sentido oeste da clareira (P4 e

P5), em todos os horários analisados, entretanto não foi observada diferença significativa entre os horários, ou seja, os valores de efluxos de CO₂ foram muito aproximados nos dois períodos analisados.

Com o período seco, o efluxo médio aumentou principalmente nas parcelas sob dossel fechado (P1 e P5) e na parcela do centro da clareira (P3) (Tabela 4), apresentando comportamento diferente ao que ocorreu no AMN durante o período de transição. O fluxo médio variou de 5,2 a 14,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no período das 08h às 13h, acarretando em um aumento do efluxo no período da tarde, com exceção a P2, que apresentou média de $5,2 \pm 1,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Contudo, o maior efluxo aconteceu nas parcelas sob dossel fechado em sentido leste e oeste do transecto a tarde, com médias de $9,7 \pm 3,5$ e $15,2 \pm 6,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. A P5 apresentou consideravelmente taxas mais elevada de efluxo que as demais parcelas, provavelmente por haver um tronco de árvore caído no local. Em estudo em uma floresta tropical úmida na Amazônia central, Sotta *et al.* (2004) encontraram valores de efluxo médio de $6,0 \pm 0,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante o período seco que apresentou a maior taxa de efluxo ($7,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em novembro.

Tabela 8 – Média e desvio padrão do efluxo de CO₂ em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mês de setembro de 2013 no AMN, FLONA Caxiuanã.

Hora	P1	P2	P3	P4	P5
08 – 13h	$9,5 \pm 4,9$	$5,2 \pm 1,2$	$7,7 \pm 2,2$	$6,8 \pm 2,5$	$14,5 \pm 7,8$
13 – 18h	$9,7 \pm 3,5$	$5,2 \pm 1,4$	$8,3 \pm 2,6$	$7,1 \pm 3,1$	$15,2 \pm 6,5$

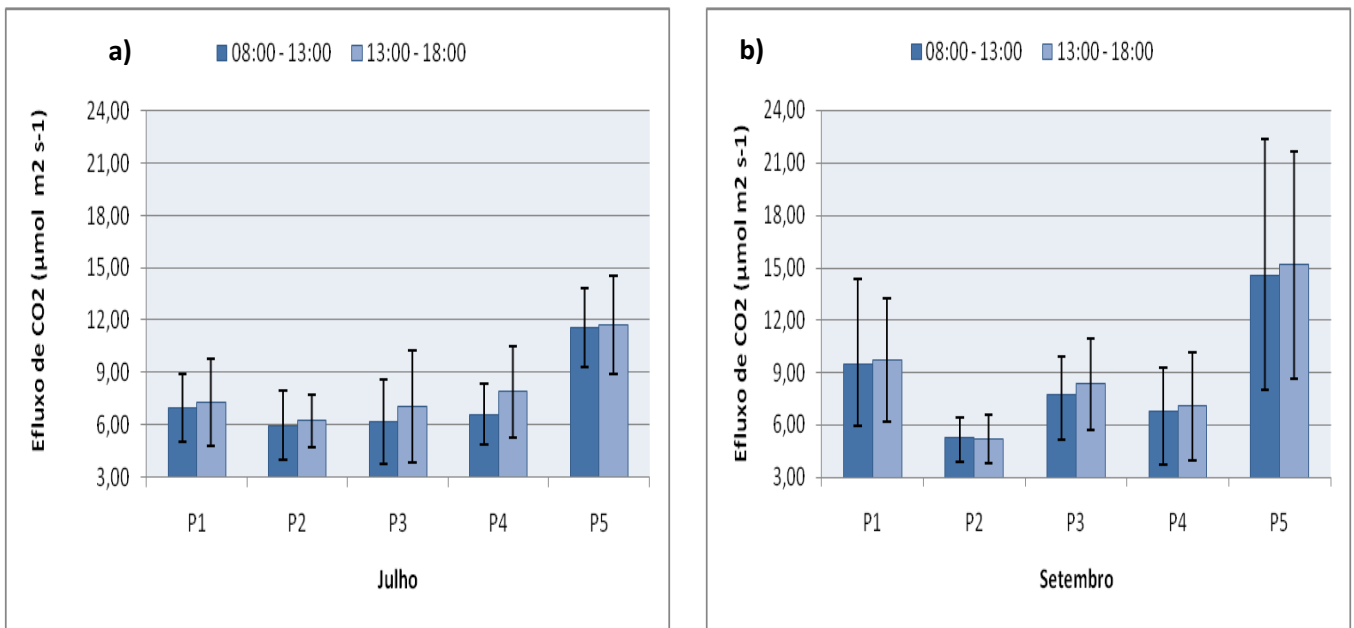
Fonte: Doutor

No mês de menos chuva os efluxos de CO₂ não acompanham a concentração de carbono orgânico no solo nos primeiros 10 cm e o movimento do calor na atmosfera, ou seja, foi encontrado um aumento do efluxo de CO₂ na clareira (P3) indo no sentido para oeste da clareira (P4 e P5), em todos os horários analisados, e não foi observado diferença entre os horários, ou seja, os efluxos de CO₂ foram os mesmos nestes dois períodos analisados. É importante observar o maior efluxo de CO₂ nas parcelas que ficam dentro da floresta, mesmo apresentando uma menor concentração de carbono orgânico nos primeiros centímetros de solo (Tabela 4).

A variabilidade espacial e temporal (horária e sazonal) do efluxo no AMN é observada a partir do comportamento representado graficamente pela Figura 17. Sendo possível constatar a variação ocorrente do efluxo, no interior do ambiente em ambos os períodos de estudo.

Comparativamente entre os dois períodos sazonais, não se encontra uma diferença estatística entre os dois períodos estudados. Percebe-se uma elevação não significativa nos fluxos no mês mais seco (setembro) em comparação com o mês de transição do período chuvoso para o seco. Para Davidson *et al.* (2000) a floresta primária mantém sua produtividade o ano todo, incluindo absorção de água por raízes profundas durante a estação seca, sendo assim, neste ecossistema produtivo é onde ocorrem as maiores taxas de efluxo de CO₂.

Figura 97 - Comportamento do efluxo de CO₂ do solo, no ano de 2013, com médias e seus respectivos desvios padrão nos meses de estudo no AMN: a) mês de julho e b) mês de setembro.



Fonte: Do autor

Valores médios e desvio padrão da temperatura do solo e da umidade volumétrica do solo, no período de estudo do mês de julho, estão dispostos na Tabela 5. O centro da clareira natural apresentou os maiores valores de temperatura do solo, variando de $27,2 \pm 0,9$ °C como média e apresentando a mínima de 25,8 °C e máxima de 29,3 °C em relação ao solo das demais parcelas do AMN a uma profundidade de 5,0 cm. As temperaturas médias das parcelas sob dossel fechado e da bordadura da clareira, variaram de 26,0 °C a 25,8 °C, respectivamente. Silva Junior *et al.* (2013) encontrou valores médios similares de temperaturas em julho de 2005, onde foram registrados $25,1 \pm 0,3$ °C na floresta primária de Caxiuanã. A diferença de aproximadamente 1,0 °C entre a parcela do centro da clareira e as demais, ocorreu devido à maior incidência de radiação solar alcançando a superfície do solo desta.

Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão da temperatura no solo ($^{\circ}\text{C}$), a 5 cm de profundidade e da umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para todas as parcelas, no mês de julho no AMN.

Julho	Ts ($^{\circ}\text{C}$)	Us ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
P1	$25,7 \pm 0,5$	$0,23 \pm 0,03$
P2	$25,9 \pm 0,6$	$0,23 \pm 0,03$
P3	$27,2 \pm 0,9$	$0,28 \pm 0,02$
P4	$25,8 \pm 0,4$	$0,25 \pm 0,02$
P5	$26,0 \pm 0,3$	$0,21 \pm 0,02$

Fonte: Do autor

A média amostral da umidade volumétrica do solo foi de $0,28 \pm 0,02 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ no centro da clareira, onde foi observada uma diminuição na umidade à medida que houve um afastamento do centro da clareira, tanto em sentido leste, quanto oeste. Possivelmente por receber mais chuvas que as parcelas com dossel fechado e as que estavam na bordadura da clareira, devido à abertura do dossel e consequente exposição do solo à chuva. Segundo Zanchi (2004) a quantidade de água que chega ao solo é influenciada pela interceptação da cobertura vegetal. Bruunzeel (1990) mostrou que o total interceptado pela vegetação está entre 4,5 e 24% da precipitação total incidente acima do dossel. Os coeficientes de variação da umidade do solo, de todas as parcelas, incluindo o centro da clareira, foram de 8,0 a 14,2%, indicando uma pequena heterogeneidade dos valores.

Naturalmente se constatou na clareira (P3) e nas bordaduras (P2 e P4) maiores valores de temperaturas e umidade do solo nos meses de transição entre o período chuvoso e o seco. Entretanto, os resultados para a temperatura não se diferenciam estatisticamente entre as parcelas, o que não é observado em relação à umidade do solo, sendo que P3 e P4 foram relativamente maiores do que as demais, respectivamente. Em desacordo com o que Davidson *et al* (2000) mostraram, a maior umidade e temperatura do solo em P3 parece não estar contribuindo para um maior efluxo de CO_2 durante o período de transição nos períodos de maior e menor precipitação.

Durante o período seco, mês de setembro, a temperatura média do solo nas parcelas do AMN, ficaram em torno de $26,8 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo que o centro da clareira (P3) apresentou uma pequena elevação na temperatura ($27,7 \pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) em relação às parcelas do experimento sob dossel fechado e da bordadura da clareira (P2 e P4) que apresentaram temperaturas médias em torno de $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabela 6). Valores médios de umidade do solo evidenciaram valores mais baixos que os encontrados na área durante o período de transição de estação devido à diminuição no regime de chuvas, apresentando umidades médias do solo de $0,13 \pm 0,02 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e $0,12 \pm 0,01 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ nas parcelas sob dossel fechado, em sentido leste e oeste. A parcela do centro da clareira (P3)

apresentou valores acima da média ($0,15 \pm 0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), o que pode ter sido acarretado a partir do escoamento sub-superficial de água das áreas ao entorno da floresta para a clareira.

Tabela 10 - Valores médios e desvio padrão da temperatura no solo ($^{\circ}\text{C}$), a 5 cm de profundidade e da umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) para todas as parcelas, no mês de setembro no AMN.

Setembro	Ts ($^{\circ}\text{C}$)	Us ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
P1	$26,5 \pm 0,42$	$0,13 \pm 0,02$
P2	$26,6 \pm 0,69$	$0,12 \pm 0,01$
P3	$27,7 \pm 0,96$	$0,15 \pm 0,02$
P4	$26,7 \pm 0,50$	$0,13 \pm 0,01$
P5	$26,6 \pm 0,31$	$0,12 \pm 0,01$

Fonte: Do autor

No período de menor precipitação não apresenta diferença estatística entre as parcelas quando se compara a temperatura do solo, entretanto, a umidade solo em P3 foi muito superior a das outras parcelas estudadas. Do mesmo modo que no período de transição, no período seco a temperatura e a umidade do solo não parecem estar interferindo nos efluxos de CO_2 .

5.1.5 Correlação entre o efluxo de CO_2 do solo e as variáveis ambientais.

5.1.5.1 Correlação entre efluxo de CO_2 e temperatura do solo (Ts)

O grau de dependência entre o efluxo de CO_2 e a Ts foi observado a partir da análise de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R^2) em busca do entendimento da relação entre as variáveis no período de transição da estação chuvoso–seco e no período seco no ano de 2013 na FLONA de Caxiuanã. O efluxo de CO_2 neste estudo segundo Dancey e Reidy (2005), apresentou alta correlação positiva com a Ts no centro da clareira natural ($r = 0,70$) e moderada correlação ($r = 0,40$) nas áreas da floresta sob dossel fechado e as da bordadura, que apresentaram o mesmo valor. O coeficiente de determinação mostrou a dependência regular que há entre as variáveis no centro da clareira ($R^2 = 0,47$) e a fraca dependência que há na floresta sob dossel fechado com $R^2 = 0,17$, o que demonstra que a Ts pode ser um fator a influenciar o efluxo de CO_2 durante período de transição de estação chuvoso–seco. Valores aproximados aos da floresta sob dossel fechado foram encontrados por Valentini (2004) em uma floresta do Noroeste do Mato Grosso ($r = 0,47$) na Amazônia legal, no ano de 2003.

No período seco, diferente do que aconteceu no período de transição, a correlação entre as variáveis foi: moderada ($r = 0,40$) no centro da clareira e fraca nas parcelas sob dossel fechado e nas

da bordadura da clareira com $r = 0,30$ em ambas as parcelas. Os valores corroboram a correlação linear significativa que há entre a T_s e o efluxo de CO_2 do solo no AMN, principalmente no centro da clareira natural e durante o período de estação chuvoso-seco na FLONA de Caxiuanã, diferente do que foi encontrado em estudo realizado por Davidson *et al.*, (2000) em Paragominas/PA, onde não houve relação significativa entre a temperatura do solo e o efluxo de CO_2 na floresta primária e em pastagem degradada tanto na estação seca quanto na chuvosa. Em estudo comparativo entre uma área natural de floresta e outra área sob exclusão da chuva na FLONA Caxiuanã, Silva Júnior *et al.* (2013) obtiveram moderada correlação ($r = 0,54$) na área sob exclusão da água da chuva e fraca correlação ($r = 0,30$) na área natural de floresta primária no ano de 2005, o que para estes autores a pequena variabilidade na temperatura do solo poderia explicar as oscilações nas correlações das diferentes parcelas, uma vez que sem abruptas variações na T_s as atividades microbianas e microfaunianas não sofrem grandes alterações.

5.1.5.2 Correlação entre efluxo de CO_2 e umidade do solo (U_s)

A umidade acompanha o regime de chuva e a temperatura do ar e do solo atuando como fator relevante para a emissão de gás carbônico do solo para a atmosfera. Encontramos fraca correlação negativa entre o efluxo de CO_2 e a U_s no centro da clareira ($r = -0,30$) e um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,08$, o que demonstrou a baixa dependência que há do efluxo de CO_2 em relação a U_s na clareira natural durante o período de transição de estação chuvoso-seco. As parcelas da floresta com dossel fechado tiveram moderada correlação negativa com $r = -0,60$ e $R^2 = 0,31$ e nas áreas de bordadura foi encontrada fraca correlação positiva com $r = 0,10$ e $R^2 = 0,003$, neste período de estudo.

Durante o período seco o AMN apresentou fraca correlação entre a U_s e a emissão de CO_2 em todas as parcelas, principalmente no centro da clareira ($r = 0,10$) a partir de um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,006$. Este fato pode ser explicado pela redução do volume de chuva no período seco que por sua vez influencia a umidade do solo.

Em uma floresta de transição Amazônia-Cerrado, Coelho (2005) percebeu a fraca correlação existente entre o efluxo e a U_s , contudo foi verificada a influência da umidade na liberação de CO_2 . Valentini (2004) encontrou correlação regular entre as variáveis ($r = 0,40$) em uma floresta da Amazônia legal, no estado do Mato Grosso com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,75$, e Sotta *et al.* (2004) encontrou um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,40$. Em estudo comparativo na FLONA Caxiuanã, já Silva-Júnior *et al.* (2013) obtiveram a partir de regressões polinomiais coeficiente de determinação de $R^2 = 0,04$ e fraca correlação na parcela preservada da

floresta ($r = 0,20$) e coeficiente de determinação de $R^2 = 0,26$ determinando moderada correlação ($r = 0,50$) na parcela sob exclusão da água direta da chuva, o que segundo os autores a variabilidade nas correlações observadas se deve à variação na umidade do solo que por sua vez influencia nas atividades microbianas e microfaunianas que apresentam maiores intensidades em condições úmidas do solo do que em situação de estresse hídrico.

5. 2 AMBIENTE MODIFICADO ANTROPICAMENTE (AMA)

5.2.1 Descrição do local

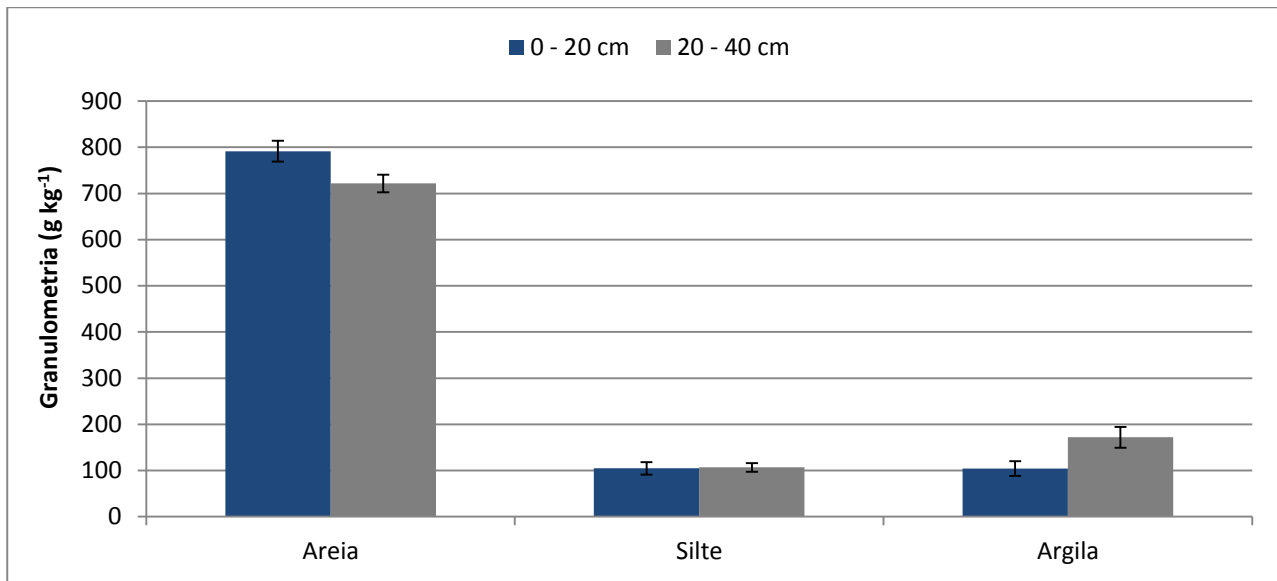
A clareira antropizada selecionada no estudo apresentou área de aproximadamente 6.503 m², a área agrícola foi implantada no mês de dezembro do ano de 2011, onde a floresta primária havia sido retirada há mais de 20 anos e implantados outros roçados ao longo desse tempo. De acordo com Carmo (2008) em Caxiuanã, foram constatadas 72 roças familiares com dimensões de 345 a 12.000 m², sendo que estas dimensões nem sempre estão relacionadas à produção.

A cobertura vegetal apresentada antes da mais recente implantação de área agrícola foi a de capoeira baixa contendo Inajá (*Maximilianamaripa Aublet Drude*), Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum*), Envira preta (*Guateria subsessilis*), assim relatados pelo produtor.

Os cultivos agrícolas implantados na área foram apontados por seus nomes vulgares: mandioca, milho, maxixe, macaxeira e milho de angola. A produção da mandioca é comercializada e tem produção dominante na área estudada em relação aos demais produtos, que são cultivados apenas para o consumo da família. A mão de obra utilizada na área agrícola é totalmente familiar, os quais adotam como sistema de preparo de área o sistema convencional de derruba e queima, implantando roçados em fragmentos dentro da área, obedecendo a um período de pousio após cada três replantes.

Como manejo adotado na área, após o plantio, três capinas são realizadas, as quais acontecem sucessivamente a cada três meses até a colheita, onde não é utilizado qualquer tipo de adubo ou calagem. O solo do ambiente modificado antropicamente tem a fração areia como predominante na área em relação às frações menores (silte e argila), possivelmente devido à maior exposição deste aos fatores ambientais e antrópicos ao qual a área é submetida (Figura 18).

Figura 108 - Granulometria das frações de areia, silte e argila do AMA.



Fonte: Do autor

Altas concentrações da fração areia foram encontradas em todas as parcelas do sítio experimental (AMA) e em ambas as profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), sendo mais evidente na camada mais superficial do solo, onde foram encontrados valores que variaram de 733 a 865 g kg⁻¹ de solo. As frações silte e argila foram evidenciadas nas profundidades 20–40 cm do solo, demonstrando uma pequena variação destas frações, assim como da fração areia, entre as parcelas do experimento. A parcela do centro da clareira, apesar de estar mais exposta foi a parcela que apresentou valores maiores de concentração da fração argila nas profundidades de 20–40 cm do solo, assim como as parcelas da capoeira que estavam sob dossel fechado, nesta mesma profundidade.

O mineral quartzo e a caulinita são os minerais predominantes na área de experimento, os teores de quartzo apresentaram picos de maior intensidade no centro da clareira (roçado), onde nesta e em todo o transecto a presença de minerais carbonáticos foi nula na camada até 10 cm de profundidade a qual as amostras foram submetidas para análise.

O solo do AMA é ácido, onde é possível observar baixos valores de pH em água (4,2 a 5,0) e baixa fertilidade, apresentando, também, baixos valores de CTC (2,2 a 3,2 cmol dm³) e de saturação por base (12,9 a 38,6%), evidenciando o caráter distrófico do solo. O ambiente apresentou concentrações menores de MO que o AMN, com valores que variaram em torno de 17 a 25 g kg⁻¹ na camada mais superficial do solo (0–20 cm) e 14 a 18 g kg⁻¹ na camada mais profunda (20–40 cm), sendo que as concentrações mais altas do AMA foram percebidas nas parcelas da capoeira de dossel fechado (18,2 e 23,8 g kg⁻¹) do sentido leste e oeste, respectivamente e as menores (17,8 e 14,8 g

kg⁻¹) no centro da clareira antropizada, no meio do roçado, de 0–20 cm e 20–40 cm de profundidade, respectivamente, o que é justificado devido ao declínio do estoque de MO após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas pelo aumento da erosão do solo, aceleração dos processos de mineralização de MO e oxidação de carbono orgânico do solo, assim como existência de menores quantidades de aportes orgânicos nesse sistema manejado quando comparados a florestas primárias (HOUGHTON *et al.*, 1991; LEITE *et al.*, 2003).

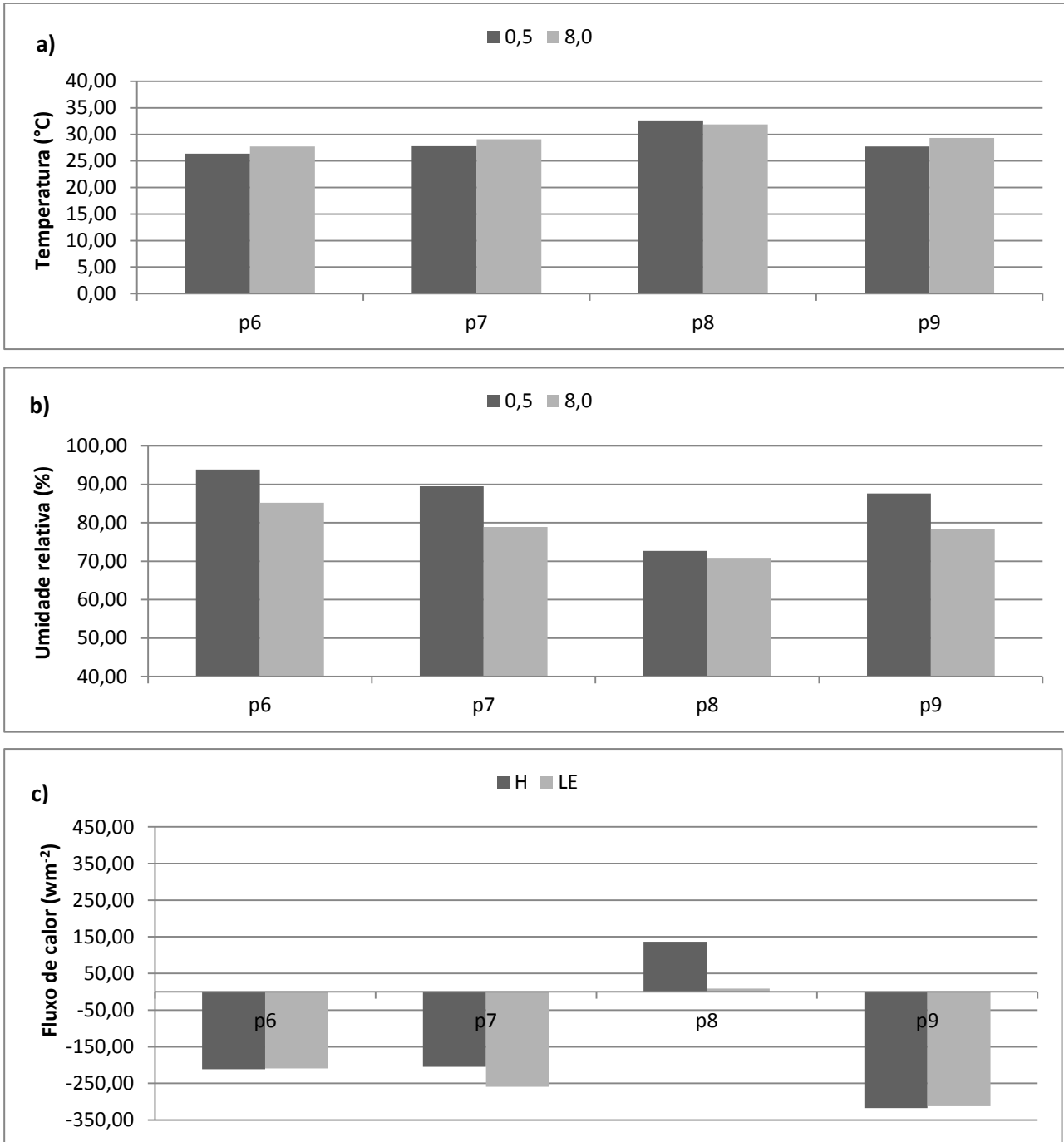
A precipitação acumulada no mês de julho foi de 272,2 mm. Devido a problemas técnicos não foi possível obter os dados de precipitação do mês de outubro, contudo, não foram observados eventos de precipitação durante o período de estudo em campo.

5.2.2 Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar, calor latente e calor sensível, no AMA.

A Figura 19 mostra as variações dos elementos micrometeorológicos (Temperatura e umidade relativa do ar, calor sensível e calor latente) durante o estudo de efluxo dos dias 20, 21, 22 e 23 de julho no ambiente modificado antropicamente, com exceção a P10, por problemas técnicos com os sensores desta parcela.

Observando o comportamento das variáveis a partir da Figura 19, é possível notar que a variável temperatura não apresentou uma variação significativa (Figura 19a), com valores que oscilaram entre 25 e 30 °C na P6, P7 e P9, apresentando valores mais elevados de temperatura à altura de 8,0 m a partir do solo. Somente na P8, os valores médios em ambas as alturas estudadas, ultrapassaram 30 °C sendo esta a área com maior incidência de radiação solar chegando à superfície. Contrário ao observado nas demais parcelas, as mais altas temperaturas foram notadas a 0,5 m do solo, isto acontece quando o aquecimento e o resfriamento do solo são mais rápidos do que o do ar, condizente ao estudo de Galeano *et al.* (2013).

Figura 19 - Representação gráfica do comportamento dos fatores micrometeorológicos no AMA, mês de julho: a) temperatura do ar; b) umidade relativa do ar e c) fluxo de calor sensível e calor latente.



Fonte: Do autor

Referente à umidade relativa do ar (Figura 19b), ocorreu maior variabilidade entre as parcelas, sendo possível notar a variabilidade tanto em relação às parcelas quanto em relação às alturas estudadas. A umidade relativa foi menor a 8,0 m de altura e na P8, centro da clareira antropizada (70,9%), onde foram encontrados os maiores valores de temperatura do ar. Em contra

partida as maiores umidades puderam ser observadas nas parcelas da capoeira e as das bordaduras, em sentido leste e oeste a 0,5 m de altura do solo. A P6 apresentou maior umidade relativa com 93,9 °C (mínima 87,6 e máxima 97,7 °C) no perfil mais próximo à superfície.

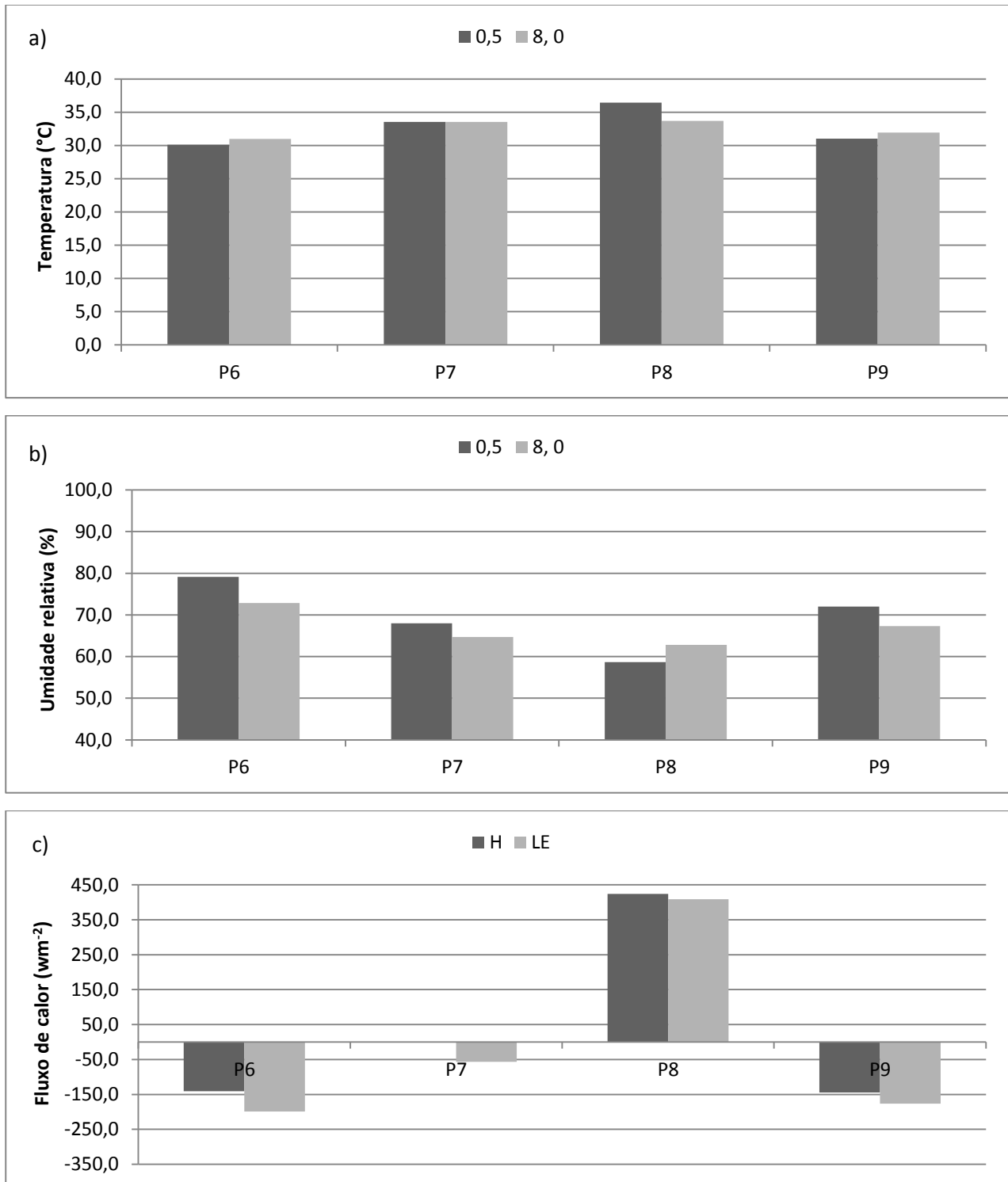
Quanto ao calor latente e calor sensível (Figura 19c), P6 e P9 apresentaram calor latente maior que calor sensível, enquanto que a P7 e P8 apresentaram calor sensível maior que o calor latente, possivelmente por serem parcelas mais expostas à radiação solar. Sendo pertinente ressaltar que, por ser um período de transição de estação chuvoso-seco, a menor ocorrência de precipitação acarreta uma elevação considerável da energia que passa a ser destinada ao calor sensível. Webler *et al.* (2013) fez estudos sobre calor latente e calor sensível na área de floresta e área de pastagem no sudoeste da Amazônia e observou no período seco na área de pastagem ocorreu um aumento nos valores dessas variáveis nesse período.

A parcela do centro da clareira apresentou fluxos positivos de calor sensível e calor latente.

O comportamento das variáveis ambientais durante o período seco está representado graficamente na Figura 20, em valores médios de temperatura do ar (Figura 20a), umidade relativa do ar (Figura 20b) e fluxos de calor latente e calor sensível (Figura 20c).

No período seco houve variações significativas das variáveis ambientais atmosféricas no AMA, que apresentou a temperatura média do ar mais elevada do transecto na P8 a 0,5 m de altura do solo com 36,5 °C (mínima de 30,3 e máxima de 43,2 °C) e os mais baixos valores médios de umidade relativa nas duas alturas estudadas, com médias de 58,7% a 0,5 m e 62,8% a 8,0 m do solo. Contrariamente ao que aconteceu na P8 as demais parcelas sob dossel contínuo, ou seja, as parcelas da capoeira (P6) e as das bordaduras (P7 e P9) apresentaram valores médios mais baixos de temperatura e mais altos de umidade relativa do ar à medida que estas apresentavam dossel mais fechado, reduzindo assim a incidência da radiação solar direta.

Figura 110 - Representação gráfica do comportamento dos fatores micrometeorológicos no AMA, mês de outubro: a) temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); b) umidade relativa do ar (%); e c) fluxo de calor sensível e calor latente (w m^{-2}).

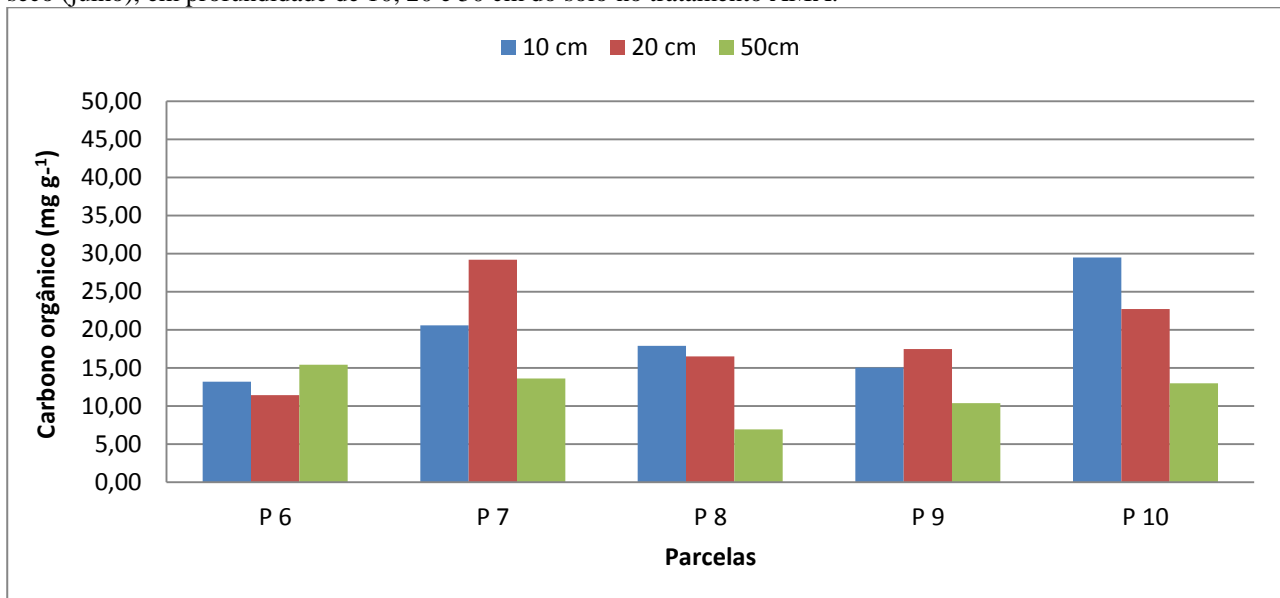


Fonte: Do autor

5.2.3 Comportamento do carbono orgânico total (COT) no AMA

A concentração de carbono orgânico total do solo do AMA foi verificada no mês de julho, durante o período de transição de estação chuvoso-seco, é apresentada na Figura 21. Baixos teores de COT do solo puderam ser observados em todas as parcelas do transecto nas três profundidades estudadas (10, 20 e 50 cm), com concentrações que variaram de 7,0 a 29,6 mg g⁻¹ de carbono orgânico total do solo, demonstrando teores mais baixos aos encontrados no AMN, neste mesmo período. Maiores concentrações foram encontradas na parcela da bordadura da clareira no sentido leste (P7), com 29,2 mg g⁻¹ a 20 cm de profundidade e na parcela da capoeira sob dossel fechado em sentido oeste (P10), apresentando 29,5 mg g⁻¹ de COT a 10 cm de profundidade, nesse período.

Figura 21 - Concentrações de carbono orgânico total em mg g⁻¹, durante o período de transição de estação Chuvoso-seco (julho), em profundidade de 10, 20 e 50 cm do solo no tratamento AMA.



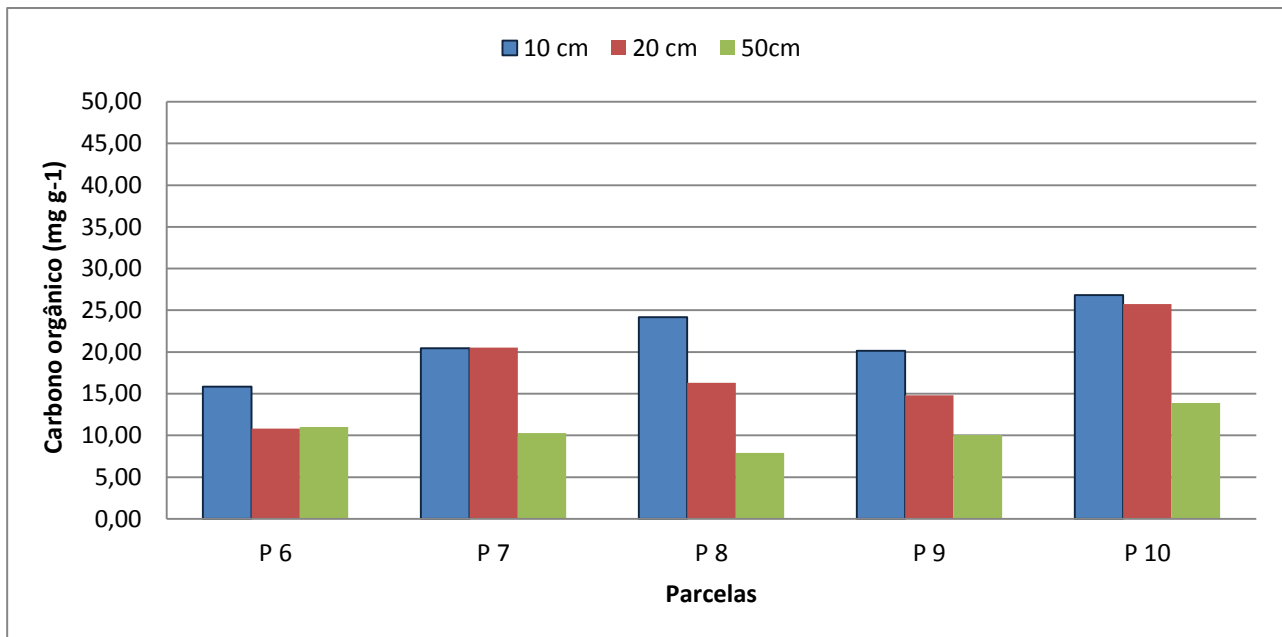
Fonte: Do autor

De acordo com Weber *et al.* (2012) quanto maior a intensidade do uso do solo, menor a quantidade de carbono orgânico presente nele, pois em estudo em solos degradados no Alto Vale Itajaí, observaram que em áreas cultivadas com plantas anuais em um longo período estas apresentaram os menores teores de COT em relação aos solos de área de mata nativa e de pomar.

Durante o período seco, mês de Outubro, Poucas variações foram observadas em relação ao período de transição de estação chuvoso-seco (Figura 22), baixos teores de COT foram detectados variando entre 7,9 a 26,8 mg g⁻¹ no sítio experimental modificado antropicamente. As parcelas do centro da clareira antropizada (roçado) (P8) e a parcela da capoeira em sentido oeste (P10) foram as que apresentaram as maiores concentrações de COT, com valores de 24,2 e 26,8 mg g⁻¹ na camada mais superficial do solo possivelmente pela maior quantidade de material vegetal,

constituído principalmente por folhas sobre o solo, oriundos de uma área próxima que estava sendo preparada para a instalação de uma nova área agrícola durante a coleta de dados em campo. Em todas as parcelas foi possível detectar um decréscimo gradual na concentração do carbono orgânico total de acordo com a profundidade.

Figura 22 - Concentrações de carbono orgânico total em mg g^{-1} , durante o período seco (outubro), em profundidade de 10, 20 e 50 cm do solo no tratamento AMA.



Fonte: Do autor

Para Lal (1996) o desflorestamento, alterações no uso da terra e o intenso cultivo do solo diminuem gradativamente o estoque de carbono, uma vez que estas práticas afetam o conteúdo de carbono por influenciar na quantidade e qualidade de biomassa vegetal produzida e incorporada ao solo.

5.2.4 Comportamento do efluxo de CO_2 do solo, temperatura e umidade do solo no AMA.

A Tabela 7 apresenta os valores médios e de desvio padrão do efluxo de todas as parcelas do AMA, no mês de julho quando em período de transição de estação chuvoso–seco, onde podemos observar que ocorreu um aumento contínuo do efluxo com o afastamento do centro da clareira. A partir deste afastamento, a P6 no período da manhã ($5,8 \pm 2,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) foi a parcela que apresentou valores médios mais próximo ao encontrado no centro da clareira ($5,5 \pm 2,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). O efluxo no período da tarde foi maior, principalmente nas parcelas da capoeira sob dossel fechado, com média de $8,3 \pm 3,7$ e $10,0 \pm 2,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, em sentido leste e oeste.

Na P8 foi encontrado o menor valor médio de efluxo, tanto pela manhã, com média de $5,5 \pm 2,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, quanto à tarde com $6,6 \pm 2,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, estes valores de efluxo são aproximados aos encontrados por Pinto Júnior *et al.* (2009), que encontrou efluxo médio de $5,6 \pm 1,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ em uma área de pastagem durante transição de estação chuvoso–seco.

Tabela 7 - Valores médios e de desvio padrão do efluxo de CO_2 em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, em julho de 2013, no AMA.

Hora	P6	P7	P8	P9	P10
08 - 13h	$5,82 \pm 2,8$	$7,15 \pm 3,3$	$5,52 \pm 2,04$	$6,88 \pm 2,2$	$9,27 \pm 4,1$
13 - 18h	$8,29 \pm 3,7$	$8,27 \pm 1,7$	$6,61 \pm 2,9$	$8,61 \pm 3,9$	$10,03 \pm 2,4$

Fonte: Do autor

Pudemos observar uma diminuição do efluxo médio de CO_2 , do período de transição chuvoso-seco para o período seco, em todas as parcelas, com valores que variaram de 1,9 a $11,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ durante a manhã e de 1,3 a $12,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ durante o período da tarde (Tabela 8). As parcelas apresentaram pequena variação espacial nos valores médios do efluxo. Durante o período da manhã houve um decréscimo contínuo do efluxo indo do sentido leste a oeste do transecto, enquanto que no período da tarde é possível constatar um aumento do efluxo de até $1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ em relação ao período da manhã e um aumento contínuo com o afastamento do centro da clareira em sentido leste e oeste.

Tabela 8 - Valores médios e de desvio padrão do efluxo de CO_2 em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, em outubro de 2013, no tratamento AMA.

Hora	P6	P7	P8	P9	P10
08 – 13h	$5,8 \pm 2,0$	$4,9 \pm 1,7$	$4,5 \pm 0,9$	$4,4 \pm 1,0$	$4,9 \pm 1,3$
13 – 18h	$6,7 \pm 2,3$	$5,3 \pm 1,8$	$5,1 \pm 1,3$	$5,4 \pm 1,3$	$5,9 \pm 1,8$

Fonte: Do autor

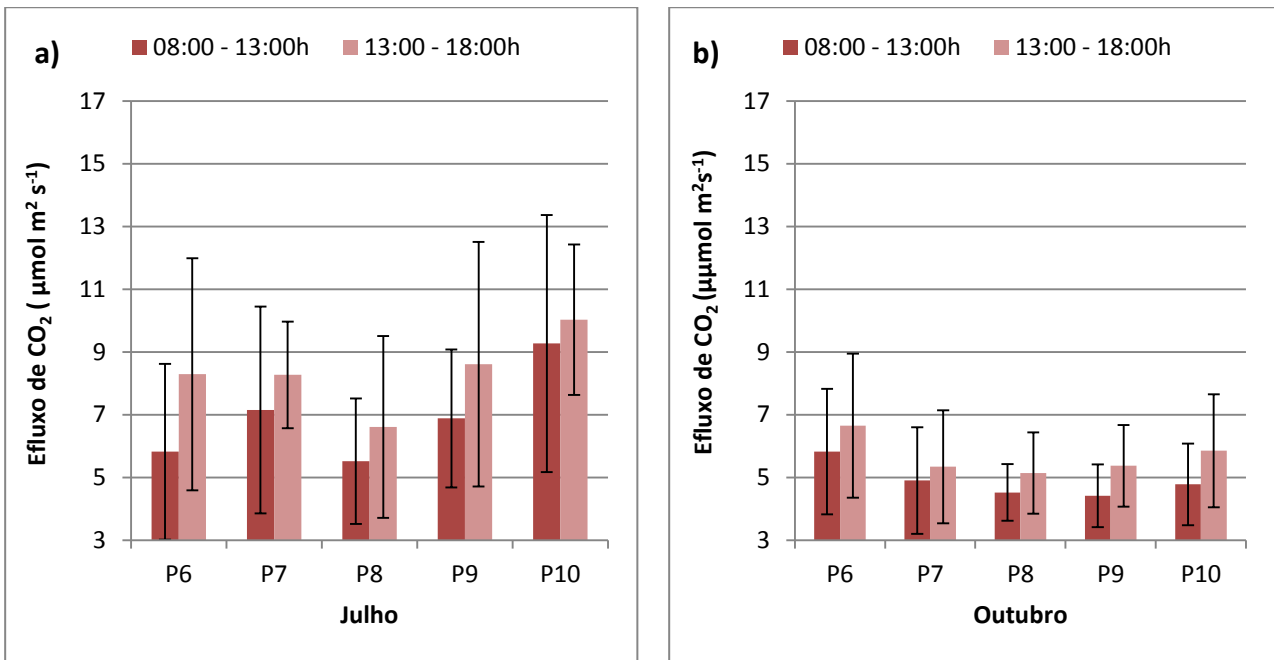
No período da tarde o efluxo médio, no centro da clareira agrícola que tem como plantio predominante na área a mandioca foi de $5,1 \pm 1,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, semelhante foi observado durante estudos em florestas e pastagens da Amazônia Oriental por Davidson *et al.* (2000), que observaram que as florestas primárias e secundárias tiveram maiores emissões de CO_2 do que em pastos degradados e ativos. O efluxo médio neste estudo é maior que o estimado por Andréa (2004)

em uma área ocupada por plantios de café no sudeste do país utilizando dois tipos de cultivares, Rubi e Acaía Cerrado não submetidos à poda, os quais apresentaram valores médios de efluxo de $0,025 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e $0,012 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente (os valores do efluxo foram citados pelo autor em $\text{g CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ e transformados para $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ através do fator de conversão 0,0631313 para facilitar a comparação).

A variabilidade espacial e temporal do efluxo de CO_2 do solo está representada na Figura 23, a partir das médias e dos desvios padrão, onde a maior variabilidade espacial das taxas de efluxo no AMA ocorre durante o período de transição chuvoso-seco, evidenciando também a influência da variabilidade temporal no ambiente, para Coelho (2005) isto se deve ao fato de que em período de transição de estação a variação das taxas de efluxo de CO_2 é ocasionada por rápidas mudanças, principalmente na umidade do solo, favorecendo processos biogeoquímicos. Em contra partida condições extremas de temperatura e baixa umidade, como as que acontecem em período seco, podem influenciar e controlar o efluxo de CO_2 , uma vez que diminuem a eficiência da atividade dos produtores de CO_2 no solo (microorganismos e invertebrados do solo), devido à baixa umidade do solo, resultando em um decréscimo nas taxas de decomposição e de efluxo de CO_2 (INO e MONSI, 1969; PINTO JÚNIOR *et al.*, 2009). Outro fator relevante a se considerar é a textura do solo, para Sotta (1998) os solos arenosos (fração predominante no solo do AMA) tem maior ventilação que pode atuar efetivamente no transporte aéreo do gás, menor quantidade de matéria orgânica e menor umidade, fatores que contribuem para uma menor emissão de gás carbônico para a atmosfera.

No ambiente modificado antropicamente, em período de transição de estação chuvoso-seco, foi possível observar que a temperatura média do solo foi diminuindo à medida que a área apresentava maior cobertura vegetal sobre o solo enquanto que a umidade do solo apresentou um comportamento inversamente proporcional ao da temperatura, onde a umidade foi aumentando do centro da clareira (AMA) ao interior da capoeira em sentido leste e oeste.

Figura 23 - Efluxo de CO₂ do solo no AMA durante os meses de estudo: a) Julho e b) Outubro.



Fonte: Do autor

A temperatura média do solo no centro da clareira foi de $30,9 \pm 1,5$ °C (mínima 28,2 e máxima 35,1 °C), representando o maior valor observado durante o período de estudo, em todo o transecto. As parcelas da bordadura da clareira em ambos os sentidos (leste e oeste) não apresentaram grandes variações, entre elas, com médias em torno de 26,1 °C, as áreas da capoeira foram as que apresentaram os menores valores de temperatura média, assim como os de desvio padrão ($25,6 \pm 0,4$ e $25,9 \pm 0,4$ °C) na P6 e P10, respectivamente, provavelmente por serem as áreas de maior cobertura vegetal sobre o solo, portanto as menos expostas à incidência direta de radiação (Tabela 9).

Baixos teores de umidade do solo puderam ser observados no AMA, principalmente no centro da clareira ($0,11 \pm 0,04$ m³ m⁻³), onde há plantios de mandioca. Ocorreu uma pequena variação entre as bordaduras, com teores médios de umidade do solo de $0,13 \pm 0,04$ m³ m⁻³ em sentido leste e $0,12 \pm 0,05$ m³ m⁻³ em sentido oeste. Os coeficientes de variação da temperatura do solo foram de 1,5 e 5,0%, considerados baixos e os de umidade do solo foram de 25,7 a 41,5%, no mês de julho.

Tabela 9 - Valores médios de temperatura do solo e umidade do solo, em período de transição de estação chuvoso-seco (julho) no AMA.

Julho	Ts (°C)	Us (m³m⁻³)
P6	25,6 ± 0,4	0,16 ± 0,04
P7	26,1 ± 0,7	0,13 ± 0,04
P8	30,9 ± 1,5	0,11 ± 0,04
P9	26,1 ± 0,6	0,12 ± 0,05
P10	25,9 ± 0,4	0,14 ± 0,04

Fonte: Do autor

No período seco, houve uma elevação na temperatura e considerável redução na umidade do solo, acompanhadas por um decréscimo da precipitação no local (Tabela 10).

Temperaturas mais elevadas puderam ser observadas no centro da clareira antropizada apresentando temperatura média de $34,9 \pm 2,6$ °C (mínima de 30,0 °C e máxima de 39,4 °C), no solo. As menores temperaturas médias do AMA foram observadas nas bordaduras (P6 e P9). Apesar da P10 com temperatura média de $28,08 \pm 0,8\%$ estar abaixo de uma maior cobertura no dossel, assim como a P6, apresentou alta temperatura por estar sob a influência de uma área próxima que estava sendo desmatada para implantação de outra área agrícola, neste período de estudo. Os coeficientes de variação da temperatura giraram em torno de 2,2 a 5,4% nas parcelas das bordaduras e as da capoeira, no centro da clareira antropizada o coeficiente de variação foi de 7,5%, representando ainda assim, pequena a heterogeneidade dos valores.

Os valores médios de umidade do solo variaram de 0,03 a 0,05 m³ m⁻³, revelando a deficiência hídrica deste ambiente, durante o período seco. O coeficiente de variação da P8 foi de 23,1%, as parcelas das bordaduras, P7 e P9 apresentaram os menores coeficientes de variação, 14,6 e 15,9%, respectivamente.

Tabela 110 - Valores médios de temperatura do solo e umidade do solo, em período seco (outubro) no AMA.

Outubro	Ts (°C)	Us (m³ m⁻³)
P6	27,5 ± 0,6	0,05 ± 0,01
P7	29,4 ± 1,6	0,03 ± 0,01
P8	34,9 ± 2,6	0,03 ± 0,01
P9	27,8 ± 0,6	0,03 ± 0,01
P10	28,8 ± 0,8	0,04 ± 0,01

Fonte: Do autor

Neste ambiente a diminuição da umidade do solo responde ao aumento de temperatura do solo e a redução da precipitação ocorrente do período de transição de estação chuvoso-seco para o período seco, sendo mais evidente no centro da clareira antropizada que é onde há o plantio de mandioca, reconhecido por alguns autores como uma planta esgotante do solo, tanto nutricionalmente quanto de água, condições estas que refletem a diminuição do efluxo de CO₂ do solo para atmosfera.

5.2.5 Correlação entre efluxo de CO₂ e variáveis ambientais no AMA

5.2.5.1 Correlação entre efluxo de CO₂ e temperatura do solo (Ts)

Mediante influência de fatores físicos e biológicos do solo os fatores microclimáticos como a temperatura e a umidade do solo atuam também como controladores de efluxo de CO₂. A área da capoeira do AMA, no período de transição de estação chuvoso–seco apresentou alta correlação positiva entre o efluxo e a Ts ($r = 0,80$) com dependência entre as variáveis de $R^2 = 0,58$ e moderada correlação nas bordaduras da clareira ($r = 0,60$) e na clareira antropizada ($r = 0,60$), que apresentaram o coeficiente de determinação de $R^2 = 0,34$ e $0,39$, respectivamente, o que denota uma correlação significativa entre as variáveis no período de transição de estação chuvoso-seco no AMA. Em estudo comparativo entre plantio convencional e plantio direto no município de Santarém (PA), Ferreira Júnior (2012) encontrou coeficiente de determinação de $R^2 = 0,65$ e elevada significância entre o efluxo de CO₂ e a temperatura do solo em plantio convencional, contrastando com o plantio direto onde não houve correlação significativa. Para o autor a diferença nos resultados se deve entre outros fatores à composição microbiana e a sua localização no perfil associados aos efeitos de manejo no solo.

Durante o período seco o observado foi que a intensidade da correlação mudou entre as variáveis, possivelmente ocasionada pelo aumento dos valores médios e pela variação dos valores da temperatura do solo, onde a área da capoeira apresentou moderada correlação inversa ($r = -0,40$) e coeficiente de determinação de $R^2 = 0,13$, evidenciando um comportamento contrário de efluxo de CO₂ com o aumento da temperatura do solo. A área das bordaduras e o centro da clareira agrícola apresentaram fracas correlações com $r = 0,20$ e $r = 0,10$, respectivamente, através dos coeficientes de determinação $R^2 = 0,03$ e $R^2 = 0,01$, corroborando a ideia de que nestas áreas o efluxo pode estar sob influência de outras variáveis ambientais, como a umidade do solo.

5.2.5.2 Correlação entre efluxo de CO₂ e umidade do solo (Us)

Como fator importante na respiração do solo e efluxo de CO₂, a correlação entre a umidade do solo e a emissão de gás carbônico foi avaliada no AMA. A clareira agrícola com plantio de mandioca como cultura predominante na área e a capoeira tiveram alta correlação negativa entre as variáveis em questão com $r = -0,80$ e $r = -0,70$, respectivamente, a partir de um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,70$ e $R^2 = 0,53$, evidenciando a influência e a relação que há entre estas variáveis durante o período de transição de estação chuvoso–seco. Altas correlações foram encontradas também nestas parcelas no período seco, contudo estas foram positivas, onde a clareira e a capoeira apresentaram o mesmo valor de correlação ($r = 0,70$) e coeficientes de determinação de $R^2 = 0,53$ e $R^2 = 0,51$. As parcelas das bordaduras da clareira, em período de transição, tiveram fraca correlação negativa ($r = -0,30$) e moderada correlação no período seco ($r = 0,40$).

Diferente da correlação apresentada na clareira agrícola da FLONA não foi encontrada correlação significativa ($r = 0,12$) entre o efluxo de CO₂ e a Us em área de plantio direto das culturas trigo e soja em estudo no Rio Grande do Sul por Oliveros (2008), que em contra partida encontrou correlação de $r = 0,66$ no plantio convencional, indicando maior dependência entre as variáveis com essa forma de manejo do solo devido à ausência dos resíduos de culturas na superfície do solo, atuando no aumento da temperatura do mesmo pela maior exposição à radiação solar.

Em visão mais ampla da correlação entre o efluxo de CO₂ do solo e a umidade do solo do período de transição da estação chuvoso-seco para o período seco, notou-se que a liberação de CO₂ para a atmosfera aumenta com o aumento da umidade e posteriormente diminui à medida que a umidade aumenta ainda mais, podendo ser ocasionado pelo preenchimento de água nos poros do solo que dificulta a troca de CO₂ com o meio (VALENTINI, 2004; COELHO, 2005).

6 CONCLUSÕES

Considerando a sazonalidade distinta ocorrente na região, o presente estudo nos permitiu concluir que a abertura de clareiras de forma natural e antrópica promovem variações dos fatores ambientais que chegam ao interior dos ambientes modificados, corroborando a hipótese de que o fluxo de calor mais intenso que ocorre no centro das clareiras e se estende ao seu entorno propicia a variabilidade espacial da emissão do CO₂ do solo para a atmosfera.

No interior dos ambientes modificados a emissão do efluxo de CO₂ também é favorecida pelo aporte de material orgânico depositado no solo, onde no AMN encontramos as maiores taxas de efluxo nas parcelas da floresta primária que estavam sob dossel fechado, ocasionados pelo aumento de temperatura do solo e do ar e decréscimo de umidade do solo e do ar, proveniente da redução de precipitação.

No AMN observamos um aumento na concentração em mg g⁻¹ de COT do período de transição de estação chuvoso-seco para o período seco, resultantes do transporte de calor para dentro da floresta, favorecido pela abertura das clareiras, o qual provocou um aumento de queda de material vegetal, produzindo serrapilheira e conseqüente aumento nas concentrações de COT nos primeiros centímetros do solo. Em contrapartida, no AMA, baixos valores de COT foram detectados no solo tanto no período de transição quanto no período seco, decorrente da quantidade e da qualidade de material vegetal disponibilizados no solo quando comparados à floresta primária. Os dois sítios experimentais evidenciaram a variabilidade ocorrente de concentração.

Em ambos os sítios encontramos correlação significativa entre a Ts e o efluxo de CO₂ durante o período de transição de estação chuvoso-seco, sendo mais intensa no centro das clareiras, confirmando a influência da perturbação natural e antrópica na emissão de CO₂ para a atmosfera neste período sazonal, o que não foi possível constatar no período seco, sendo o efluxo de CO₂ influenciado por outras variáveis ambientais. Entre a Us e o efluxo de CO₂ a correlação foi significativa no período de transição de estação e não significativa no período seco, onde, neste último, ambos os ambientes experimentaram uma redução de precipitação e elevação de temperatura do ar e do solo, refletindo assim a baixa correlação entre a Us e o efluxo neste período de estudo.

REFERÊNCIAS

- ADACHI, M.; BEKKU, Y. S.; RASHIDAH, W.; OKUDA, T.; KOIZUMI, H. Differences in soil respiration between different tropical ecosystem. *Applied Soil Ecology*, v. 34, p. 258 – 265, 2006.
- ALMEIDA, S. *Clareiras naturais na Amazônia Central: Abundância, distribuição. Estrutura e aspectos da colonização*. 1989. Dissertação (mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1989.
- ANDRADE, N. L. R.; SANCHES, L.; PINTO JUNIOR, B. O.; DIAS, C. A. A.; ALVES, J. S. Macro – nutrientes no lençol freático em floresta intacta, floresta de manejo e pastagem no Norte do Mato Grosso. *Acta Amazônica*, v. 38, p. 667 – 672, 2008.
- ANDRÉA, A. F. *Fluxo de CO₂ do solo em áreas com cafeeiros e povoamentos florestais*. 2004. Tese (doutorado em Agronomia) – UFLA, Lavras, 2004.
- ARRIAGA, L. Gap dynamics of a tropical cloud forest in Northeastern Mexico. *Biotropica*, v. 20, p. 178 – 184, 1988.
- ASNER, G. P.; KELLER, M.; SILVA, J. N. M., Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. *Global Change Biology*, v. 10, p. 765 - 783, 2004.
- ASSAD, M. L. L.; et al. Sistema de informação geográfica na avaliação de terras para a agricultura. In: ASSAD (Org). *Sistema de informação geográfica, aplicação na agricultura*. Brasília, DF: Embrapa, p. 149, 1998.
- BARTON, A.M., FETCHER, N., REDHEAD, S. The relationship between treefall gap size and light flux in a Neotropical rain forest in Costa Rica. *J. Trop. Ecol*, v. 5, p. 437 – 439, 1989.
- BONAN, G. B. Forests and climate change: Forcing, feedbacks and the climate benefits of forests. *Science*, v. 320, p. 1444 - 1449, 2008.
- BROKAW, N. V. L. The definition of tree fall gap and it's effect on measure of forests dynamics. *Biotropica*, v. 14, n. 2, p. 156 – 160, 1982.
- BRUNZEEL, L. A. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: BRUNZEEL, L. A. *Hidrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state of knowledge review*. Amsterdam. IA 45, p. 5-38, 1990.
- CALDEIRA, M. V. W.; SHUMACHER, M. V.; BARICHELLO, L. R.; VOGEL, H. L. M.; Determinação de carbono orgânico plantados em povoamentos de Acácia Mearnsii de Wild. plantados no Rio Grande do Sul. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 1, n. 2, p. 47 – 54, 2003.
- CARMO, M. S. *Transferência química na cadeia solo- mandioca – cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental*. 2008. Tese (doutorado em geoquímica e petrologia) – Instituto de Geociência - UFPA, Belém, 2008.

- CARVALHO, J. O. P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: Simpósio Silvicultural na Amazônia Oriental: Contribuições do Projeto Embrapa. Belém/PA. Resumos expandidos, p. 174 – 179, 1999.
- CHAMBERS, J. K.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L. C.; et al. Respiration from a tropical forest ecosystem: Partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. 72 - 88, 2004.
- CHANDRASHEKARA, U. M.; RAMAKRISHNAN, P. S. Successional patterns and gap phase dynamics of a humid tropical forest of the Western Ghats of Kerala, India: ground vegetation, biomass, productivity and nutrient cycling. *Forest Ecology and Management*, v. 70, p. 23 - 40, 1994.
- COELHO, M. M. *Estudo da respiração do solo em florestas de transição no sudoeste da Amazônia*. 2005. Dissertação (mestrado em física e meio ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra-UFMG, Cuiabá, 2005.
- COSTA, J. A.; RODRIGUES, T. E.; KERN, D. C. Os solos da estação científica Ferreira Penna, Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã: Desafios para a conservação de uma floresta nacional na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009. p. 117-127.
- COSTA, J. P. R.; FERNANDES, A. A. S.; BANDEIRA, S. N. Características microclimáticas em área de clareira na Amazônia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia.2010. Pará. 2010.
- COSTA, R. FERREIRA da. et al . *Projeto LBA/ Esecaflor em Caxiuanã: características, atividades e resultados*. In: Seminário de 10 anos de Atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Anais, Caxiuanã, Pará, 2003.
- DANCEY, C.; REIDY, J. *Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre. Artmed, 2005.
- DANTAS, V. A; SILVA, V. P. R.; COSTA, A. C. L.; CHAGAS, G. F. B. Impactos da redução da pluviometria na biomassa aérea da Floresta Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 1266 – 1274, 2011.
- DAVIDSON, E. A.; ISHIDA, F. Y.; NEPSTAD, D. C. Effects of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest; *Global Change Biology*, v.10, p. 718 - 730, 2004.
- DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L. V.; CATTANIO, J. H.; ACKERMAN, I. L.; CARVALHO, J. E. M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, v. 48, p. 53 – 69, 2000.
- DEMATTÊ, J. L. I. e DEMATTÊ, J. A. M. Comparação entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta Amazônica e do cerrado do Brasil Central. *Sci. Agric*, Piracicaba, v. 50, n. 2, p. 272 – 286, 1993.
- DIAS, J. D. *Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia*. 2006. Dissertação (mestrado em ecologia de agroecossistema). Piracicaba, São Paulo, 2006.

EMBRAPA. *Manual de Métodos de análise de solo. Centro Nacional de pesquisa de Solos*. 2^a . ed. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

FERREIRA JÚNIOR, M. J. A. *Avaliação do impacto dos diferentes usos do solo nas emissões de C - CO₂ na região de Planalto de Santarém, Pará*. 2012. Dissertação (mestrado em recursos naturais da Amazônia), UFOPA, Santarém, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, 2009.

A FÍSICA DO SOLO. Disponível em: <<http://sustentabilidadenaopalavraeacao.blogspot.com.br/search/label/f%20c3%ADsica%20do%20solo>>. Acesso em: 24 jan 2014.

FISHER, J. B.; MALHI, Y.; de ARAÚJO; A. C.; BONAL, D.; GAMO, M.; GOULDEN, M. L.; HIRANO, T.; HUETE, A. R. et al. The land – atmosphere water flux in the tropics. *Global Change Biology*, v. 15, p. 2694 – 2714, 2009.

FISHER, R. A.; WILLIAMS, M.; VALE, R. L et al. Evidence from Amazonian forest is consistent with isohydric control of leaf water potential. *Plant, Cell and Environment*, v. 29, p. 151 – 165, 2006.

FREIRE. A. S. C. *Análise meteorológica no estabelecimento de plântulas do Açázeiro (Euterpe oleracea Mart.), na APA ilha do Combu, BELÉM, PARÁ, BRASIL*. 2011. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais). Pará, 2011.

GALEANO, D. C.; BIUDES, M. S.; DANELICHEN, V. H. M.; FABIAN, F. A.; SOUZA, M. C. Energy balance in a pasture in the Pantanal. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 4, n. 2, p. 113 – 118, 2013.

GALLON, M. M. P.; SANCHES, L.; PAULO, S. R. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel uma floresta tropical de transição amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3b, p. 291 – 300, 2006.

GARSON, G. D. *Statnotes: Topics in Multivariate Analysis*, 2009. Disponível em: <http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/statnote.htm>

GONÇALVES, P. H. L. *Influência de variáveis biofísicas nas taxas de respiração de solos em floresta tropical da Amazônia oriental*. 2009. Dissertação (mestrado em meteorologia agrícola). Universidade Federal de Viçosa, MG, 2009.

HAIR, J. F. et al. *Multivariate Data Analysis: A Global Perspective*. 7^o edição. Upper Saddle River: Prentice, 2009.

HARTSHORN, G. S. Treefalls and tropical forest dynamics. *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press, Cambridge, England, p. 617 - 638, 1978.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; PINTO, A.C.M.; SILVA, R.P.; ROCHA, R.M.; TRIBUZY, E.S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Revista Floresta*, Curitiba, v.34, n.3, p. 295 - 304, 2004.

- HOUGHTON, R.A.; SKOLE,D.L.; LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985.II Net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecol. Manag.*, v. 38, p. 173 - 199, 1991.
- INO, Y; MONSI, M. An Experimental Approach to the Calculation of CO₂ Amount Evolved from Several Soils. *Japanese Journal of Botany*, v. 20, p. 153 – 188, 1969.
- JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C.; Efeito de diferentes tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Mojú – PA. *Acta Amazônica*, v. 37 n. 1, p. 37 – 48, 2007.
- JARDIM, F. C. S.; VOLPATO, M. M. L.; SOUZA, A. L. *Dinâmica de sucessão natural em clareiras de florestas tropicais*. Viçosa: SIF, p. 60. (Documento SIF, 010), 1993.
- KUKKONEN, M.; RITA, H.; HOHNWALD, S.; NYGREN, A. Treefall gaps of certified, conventionally managed and natural forests as regeneration sites for Neotropical timber trees in northern Honduras. *Forest Ecology and Management*; v. 255, p.2163 - 2176, 2008.
- LAL, R. Land use and sal management effect on soil organic matter dynamics on alfisols in western Nigéria. In: Lal, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F. STEWART, B. A. S. Processes and the carbon cycle. *Advances in Soil Science*, p.109 - 126, 1996.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A. & GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 821 - 832, 2003.
- LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. Caracterização e interpretação para uso agrícola dos principais solos da microrregião do Bico do Papagaio – Tocantins. Fortaleza: EMBRAPA – CNPAT, p.20, 1999.
- LIMA, R.A.F. Estrutura e regeneração de clareiras. *Revista Brasil. Bot.*, V. 28, n. 4, p. 651 - 670, 2005.
- LOWMAN, M. D.; MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate change, deforestation, and the fate of the amazon. *Science*. v. 319, p. 169 - 172, 2008.
- MALHI, Y., ROBERTS, J., BETTS, R., KILLEN, T., LI, W.; NOBRE, C. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, v. 319, p.169, 2008.
- MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, cell and environment*. V. 22, p. 715 - 740, 1999.
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ Júnior, O. F. et al. Atributos químicos, físico – hídricos, e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 1, p. 1 – 12, 2010.
- MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A. LOYD, J. Soil respiration in amazonia and in cerrado in central Brazil. in *Amazon Deforestation and Climate*, (eds). J.C.H. Gash, Chichester, UK, p. 319-330, 1996.

- METCALFE, D. B.; LOBO DO VALE, R.; CHAVES, M. M. et al. Impacts of experimentally imposed drought on leaf respiration and morphology in the Amazon rain Forest. *Functional Ecology*, v. 24, p. 524 - 533, 2010.
- METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C. et al. Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and a oil organic matter at four rain Forest sites in the eastern Amazon. *Journal of geophysical research*, v. 112, G04001, 2007.
- MOORE, D. S. *The basic practice of statistics*. New York, Freeman, 2007.
- MORAES, J. C.; COSTA, J. P. R.; ROCHA, E. J. P.; SILVA, I. M. O. Estudos hidrometeorológicos na bacia do rio Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã*. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém: MPEG, 1997. v. 1, p. 85 – 95.
- MOREIRA, A.; COSTA, D. G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta Amazônica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1013 - 1019, 2004.
- ODUM, E. P. *Ecologia*. 1º Edição, Rio de Janeiro, RJ. Editora Guanabara, p. 434, 1988.
- OLIVEIRA, L. L.; CUNHA, A. C.; COSTA, A. C. L.; et al. Sazonalidade e interceptação da chuva na Floresta Nacional em Caxiuanã – Amazônia Oriental. *Scientia Plena*, v. 7, n. 10, 2011.
- OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica*, v. 38, p. 4, p. 723 - 732, 2008.
- OLIVEROS, L. F. C. *Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto e Latossolo Vermelho do Rio Grande do Sul*. 2008. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – UFSM, RS, 2008.
- ORIAN, G.H. The influence of tree-falls in tropical forest in tree species richness. *Tropical Ecology*, v. 23, p. 255 - 279, 1982.
- PERES, M. C. L. *Estudo das comunidades de aranhas (Araneae: Arachnida) em clareiras naturais e floresta madura de Floresta Atlântica - Parque Estadual de Dois Irmãos (Recife – Pernambuco – Brasil)*. 2001. Dissertação (mestrado) 2001.
- PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; HIGUCHI, N. et al. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science*, v. 282, n. 5388, p. 439 - 442, 1998.
- PHILLIPS, O.; ARAGÃO, L.; LEWIS, S.; FISHER, J., LLOYD, J., LÓPEZ-GONZÁLEZ, G. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, v. 323, n. 5919, p. 1344 - 1347, 2009.
- PINTO JÚNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 9, p. 813 – 822, 2009.
- RAICH, J. W.; EWEL, J.; OLIVEIRA, M. Soil CO₂ efflux in simple and diverse ecosystems on volcanic soil in Costa Rica. *Turrialba*, v. 35, n. 1, p. 33 - 42, 1985.

- 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.
- RUIVO, M. L. P. et al. *Propriedades do solo e fluxo de CO₂ em Caxiuanã, Pará: Experimento LBA-ESECAFLOR*, In: Contribuições à Geologia da Amazônia, 3. Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 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 Ecosystems and Sustainable Development (eds E. Tiezzi, C.A. Brebbia & J.L. Uso), p. 1113–1121, 2003.
- SARMIENTO, J. L.; GRUBER, N. Sinks for anthropogenic carbon. *Physics Today*, v. 55, p. 30-45, 2002.
- SILVA JÚNIOR, J. de A.; COSTA, A. C. L.; AZEVEDO, P. V. et al. Fluxo de CO₂ do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará, durante o experimento esecafior/LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 1, p. 85 – 94, 2013.
- SILVA JÚNIOR, R. S.; MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; KORMANN, R.; LYRA, R. F. F.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região Amazônica. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n. 3, p. 259 – 270, 2004.
- SILVA, C. j.; SANCHES, L.; BLEICH, E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no cerrado e floresta de transição Amazônia- Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. *Acta Amazonica*, v. 37, n. 4, p. 543 - 548, 2007.
- SILVA, R. M.; COSTA, J. M. N. RUIVO, M. L. P. et al. Influence of meteorological variables in the litterfall production in the Ferreira Penna Scientific Station, Caxiuanã, Pará, Brazil. *Acta Amazonica*, v. 39, n. 3, p. 573 – 582, 2009.
- SIMÕES, L. H. R.; RUIVO, M. L. P.; SILVA, S. A.; COSTA, J. A., et al. Caracterização e classificação de três unidades de solo da grade amostral do programa de pesquisa em biodiversidade (PPBIO). In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia*. Belém: MPEG, 2009. p. 129-139.
- SIQUEIRA, M. G.; VIEIRA, S. R.; DE CAMARGO, M. B. P.; Variabilidade espacial do armazenamento e perda média diária de água pelo solo no sistema de semeadura direta em Campinas, SP. *Bragantia*, v. 67, n. 1, p. 213 - 223, 2008.
- SOTTA, E. D. *Fluxo de CO₂ entre solo e a atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central*. Dissertação (mestrado em biologia tropical e recursos naturais) – INPA, Manaus, 1998.
- SOTTA, E. D.; MEIER, P.; MALHI, Y. et al. Soil CO₂ efflux in a tropical forest in the central Amazon. *Global Change Biology*, v. 10, p. 601 – 617, 2004.
- SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E. et al. 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.

- SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E.; SCHWENDENMANN, L. et al. Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO₂) efflux and soil CO₂ production in an Eastern Amazonian rainforest, Brazil. *Global Change Biology*, v. 13, p. 2218 - 2229, 2007.
- SOUSA NETO, E.; CARMO, J. B.; KELLER, M. et al. Soil-atmosphere Exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic Forest. *Biogeosciences*, v. 8, p. 733 - 742, 2011.
- SOUZA FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 223 – 229, 2005.
- SOUZA JUNIOR, J. A.; COHEN, J. C. P. Simulação numérica com modelo de alta resolução das circulações locais em Caxiuanã, 2006. Disponível em: http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/artigos_cientificos/ed_08/pdf/jose_augusto_junior.pdf. Acesso em: 28 Fev 2014.
- SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria, MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699 - 707, 2001.
- TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. Colonização de clareiras naturais na floresta Atlântica no Sudeste do Brasil. *Rev. Brasil. Bot*, v.20, p. 57 - 66, 1997.
- TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. Clareiras naturais e a riqueza de espécies pioneiras em uma floresta atlântica montana. *Rev. Brasil. Biol*, v. 59, n. 2, p. 251 - 261, 1999.
- VALE JÚNIOR, J. F.; SOUZA, M. I. L.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; CRUZ, D. L. S. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 5, n. 2, p.158 - 165, 2011.
- VALENTINI, C. M. A. *Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no Noroeste de Mato Grosso*. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – UFMG, Minas Gerais, 2004.
- VAN RAIJ, B. *Fertilidade do solo e adubação*. Editora Agronômica Ceres, São Paulo – SP, 1991.
- VIANA, J. S. et al. *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 estação científica Ferreira Penna, Caxiuanã. Belém: MPEG, 2003.
- VIANA, V. M. *Seed dispersal and gap regeneration of tropical tree species*. Tese (doutorado), Cambridge Massachusetts, Harvard University, p. 270, 1989.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S.; PRIANTE-FILHO, N. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3b, p. 331 - 343, 2006.

- VITORINO, M. I. *Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas*. Tese (Doutorado em Meteorologia) - INPE, São Paulo, 2002.
- WEBER, F. S.; STÜRMER, L. K.; VALICHESKI, R. R.; MELO, T. M. *Dinâmica do carbono orgânico em solos sob degradação*. 2012. In: Anais da XIII FETEC. Feira de Conhecimento Tecnológico e Científico, 2012.
- WEBLER, A. D.; GOMES, J. B.; AGUIAR, R. G.; de ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, L. J. G. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 8, p. 868 – 876, 2013.
- WILLIAMS, M.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; RASTETTER, E. B.; GRACE, J.; PEREIRA, M. G. P. Seasonal Variation in Net Carbon Exchange and Evapotranspiration in a Brazilian Rain Forest: a modelling analysis. *Plant, cell and environment*, v. 21, p. 953 - 968, 1998.
- ZANCHI, F. B. *Medição do efluxo de CO₂ do solo com câmaras automáticas sobre floresta em Rondônia*. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas-USP, São Paulo, 2004.
- ZANCHI, F. B.; GOMES, B. M.; RANDOW, C.; KRUIJT, B., MANZI, A. O. *Medições dos fluxos de dióxido de carbono e estimativa do “fetch” (área de influência) em pastagem e floresta em Rondônia*. In: 1º Congresso de Estudantes do LBA, ciclagem e armazenamento do Carbono, Belém. Anais... p. 13, 2002.
- ZENG, N.; MARIOTTI, A.; WETZEL, P. Terrestrial Mechanisms of interannual CO₂ variability. *Global Biogeochemical cycle*, v. 19, GB 1016, 2005.