



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

**ELANE CRISTINA MELO LEMOS**

**EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E ESTOQUE DE CARBONO EM  
SISTEMAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

Belém-PA

2011

ELANE CRISTINA MELO LEMOS

**EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E ESTOQUE DE CARBONO EM  
SISTEMAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

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

Área de concentração: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Sócio-Ambientais

Orientador: Steel Silva Vasconcelos

Belém-PA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

L557e Lemos, Elane Cristina Melo

Emissão de dióxido de carbono e estoque de carbono em sistemas convencionais e alternativo de produção agropecuária no Nordeste paraense / Elane Cristina Melo Lemos; Orientador: Steel Silva Vasconcelos - 2011.

90 fl.: Ed.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2011.

1. Dióxido de carbono. 2. Liteira. 3. Sistemas agropecuários. 4. Mãe do Rio (PA). I. Vasconcelos, Steel Silva, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 22° Ed 546.681098115.:

---

ELANE CRISTINA MELO LEMOS

**EMIÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E ESTOQUE DE CARBONO EM  
SISTEMAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVO DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA NO NORDESTE PARAENSE**

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

**Data de Aprovação:** 25 / 08 / 2011.

**Conceito:**

**Banca Examinadora:**

---

Steel Silva Vasconcelos - Orientador  
Doutor em Recursos e Conservação Florestais – Embrapa  
Amazônia Oriental

---

Leonardo Deane de Abreu Sá - Avaliador  
Doutor em Física da Atmosfera – Instituto Nacional de Pesquisas  
Espaciais (INPE)

---

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Avaliador  
Doutora em Agronomia – Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)

---

Alessandro Carioca de Araújo - Avaliador  
PhD em Ciências Geoambientais – Embrapa Amazônia Oriental

*À Deus, pela vida, força e sabedoria.  
Aos meus pais, Terezinha A. Melo e  
Lúcio Melo, e irmãos, Heliana, Ézer,  
Elba e Éder, pelo amor, respeito e  
confiança. Aos meus dois amores  
Walkymário Lemos e Yago Lemos, que  
estiveram ao meu lado em todos os  
momentos vividos.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida, por ser fiel a mim e ter me concedido mais esta vitória.

Ao meu amor eterno, meu filho Yago Melo Lemos, pela felicidade de ser mãe.

Ao meu esposo Walkymário de Paulo Lemos, pelo amor, respeito e companheirismo.

Aos meus pais, Terezinha A. Melo e Lúcio Melo, pelo amor e criação exemplar.

Aos meus irmãos, Heliana, Ézer, Elba e Éder, pela companhia ao longo de nossas vidas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), em especial aos professores que contribuíram para a conquista do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Ao Orientador DSc. Steel Silva Vasconcelos, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, pela orientação, confiança, paciência e dedicação ao longo do curso.

À Embrapa Amazônia Oriental e ao projeto Gestabacias, pela oportunidade e disponibilidade de infra-estrutura para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA), pela concessão da Bolsa de estudo ao longo do mestrado.

Ao Professor DSc. Leonardo Deane de Abreu Sá, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela amizade, contribuições diferenciais e dicas nos diversos trabalhos desenvolvidos ao longo da pós-graduação.

Ao pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, MSc. Moisés Mourão Júnior, pela valiosa e decisiva contribuição nas análises estatísticas desta pesquisa.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, em especial Cléo de Souza, Everson Rocha, Ivanildo Trindade, Elaine Santos e Jocélia Barros, pelo apoio nas viagens de campo e Neusa Ferreira, pelo apoio em laboratório.

À amiga Cristiane Formigosa, pelo apoio na viagem de campo e pelas contribuições para dissertação.

À professora Lúcia Imbiriba e aos funcionários da biblioteca do Instituto de Geociências da UFPA (IG).

Ao produtor rural, Sr. José Cordeiro, pela concessão das áreas experimentais utilizadas nesta pesquisa e a sua filha Elizete Souza pelo importante auxílio nas campanhas de campo.

Ao funcionário do Laboratório de Botânica da Embrapa Amazônia Oriental, Sr. Miguel Nascimento, pela valiosa colaboração no levantamento florístico e identificação das espécies desta pesquisa.

Aos amigos do curso de ciências ambientais que ingressaram no ano de 2009.

Por fim, expresso os meus mais sinceros agradecimentos a todos que, mesmo não citados, contribuíram direta ou indiretamente para que essa pesquisa obtivesse êxito.

*“A experiência é uma lanterna dependurada nas costas que apenas ilumina o caminho já percorrido”*

*Confúcio*

## RESUMO

A aplicação de técnicas menos agressivas ao meio ambiente, como o uso de sistemas alternativos (corte e trituração), no lugar dos sistemas convencionais (corte-e-queima), além de favorecer o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos em áreas florestais, contribui para a mitigação das mudanças climáticas. O objetivo deste estudo foi estimar a emissão e o estoque de carbono do solo em sistemas de produção agropecuária em unidades rurais familiares do Nordeste paraense. Os estudos foram conduzidos em área de agricultor familiar no Município de Mãe do Rio, com temperatura média anual de 25 a 28°C, precipitação pluviométrica acima de 2500 mm e com solo predominante do tipo Latossolo Amarelo distrófico de textura média a argilosa. Foram selecionados 3 sistemas de uso da terra (cultivo com *Schizolobium amazonicum*, roça e silvipastoril) e mais uma área de referência (floresta secundária), com 4 parcelas, medindo 20 m x 20 m cada. Foram avaliados a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, estoque de carbono no solo, estoque da liteira no solo e estoque de carbono na liteira. Os dados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e à comparação das médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5%. Em todos os sistemas avaliados, as maiores emissões de CO<sub>2</sub> do solo, observadas no período chuvoso, foram no sistema silvipastoril (5,02 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), em comparação à área da floresta secundária (3,56 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). De todas as áreas estudadas a maior emissão anual foi encontrada no sistema silvipastoril. O estoque de carbono no solo foi maior na área da floresta secundária, com total de 157 ± 31,10 Mg ha<sup>-1</sup> (0-100 cm). O maior estoque de liteira no solo encontrado foi para a fração da liteira não-lenhosa, em todos os sistemas agropecuários e floresta secundária. O maior estoque de carbono na liteira não-lenhosa total foi observada no mês de janeiro/2010, com média geral de 4,31 ± 3,0 Mg ha<sup>-1</sup>, em todos os sistemas avaliados. Os sistemas de uso da terra que não utilizam o fogo no preparo da área, como os sistemas alternativos de corte-e-trituração, além de contribuírem para a mitigação das mudanças climáticas, ajudam na manutenção do funcionamento adequado dos ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres.

Palavras-chave: Dióxido de carbono. Liteira. Sistemas agropecuários. Mãe do Rio (PA).

## ABSTRACT

Use of agricultural conservation practices such as slash-and-mulch, as an alternative to slash-and-burn, is less harmful to biogeochemical cycling and helps to mitigate climate change. The aim of this study was to estimate soil carbon emission and stocks in smallholder agricultural units in Northeast of Pará. The study was carried out in the municipality of Mãe do Rio. Average annual temperature in this area varied from 25 to 28 °C and rainfall typically is higher than 2500 mm; predominant soil is Yellow Dystrophic Oxisol with texture varying from medium to clayey. In this research, we selected three land use systems (*Schizolobium amazonicum* plantation, *Manihot esculenta* crop, and silvopastoral), which were compared with a reference area (regrowth forest); we established four 20 m x 20 m plots in each system. We measured monthly soil CO<sub>2</sub> efflux as well as soil carbon stock and aboveground litter carbon stock. Analysis of variance was used to test the effects of land use systems and regrowth forest effects on carbon emission and stock; Tukey test at 5% was used to compare treatment means. The silvopastoral system showed the highest monthly soil CO<sub>2</sub> emissions, which were observed during the rainy season; this system also had the largest annual emission. Soil carbon stock was significantly higher in the regrowth forest was  $157 \pm 31,10 \text{ Mg ha}^{-1}$  (0-100 cm). Litter stock was higher for the non-woody fraction than the woody fraction for both land use and regrowth forest systems. The largest stock of carbon in non-woody litter (overall mean =  $4.31 \pm 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) was observed in January 2010. Our results suggest that the land use systems that do not use fire in land preparation, such as the slash-and-mulch system, helped to maintain carbon biogeochemical cycling.

**Key words:** Carbon dioxide. Litter. Agricultural systems. Mãe do Rio (PA)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Modelo esquemático do ciclo global do carbono.....	25
Figura 2. Ciclo biogeoquímico do carbono no ecossistema terrestre (interação solo-planta-atmosfera).....	31
Figura 3. Mapa do município de Mãe do Rio, PA, e distribuição das áreas experimentais do estudo.....	36
Figura 4. Áreas onde foram conduzidas as pesquisas (sistema do paricá, sistema silvipastoril, sistema de roça e área de referência).....	38
Figura 5. Medição de diâmetro a altura do peito (DAP) no sistema de cultivo de paricá.....	42
Figura 6. Pluviômetro implantado próximo das áreas experimentais em Mãe do Rio (A) e o modelo “ <i>Ville de Paris</i> ” usado na estação meteorológica da Universidade Federal do Pará (B).....	44
Figura 7. Detalhes do anel: base da câmara de respiração do solo (A), da medição da emissão de CO <sub>2</sub> do solo pelo EGM-4 (B), e da medição direta da temperatura do solo (C).....	46
Figura 8. Croqui ilustrativo dos sistemas agropecuários e da floresta secundária, mostrando a disposição dos anéis de respiração do solo em cada um deles.....	47
Figura 9. Coleta de liteira utilizando a grade cortante no sistema de roça..	49
Figura 10. Detalhes da coleta de solo em trincheira (A); manipulação do anel volumétrico para coleta do solo e determinação do estoque de carbono e densidade (B); e analisador elementar (LECO, CNS 2000) (C).	51
Figura 11. Precipitação mensal e emissão de CO <sub>2</sub> em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.....	56
Figura 12. Emissão anual de CO <sub>2</sub> em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA (letras minúsculas (“a e b”) representam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey entre os tratamentos).....	59
Figura 13. a) Precipitação mensal, b) temperatura e c) umidade do solo em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.....	61

Figura 14. Variação temporal do estoque de liteira total no solo, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (dentro do mesmo mês) e minúscula (dentro de um mesmo sistema de produção) não apresentam diferenças estatísticas entre si, de acordo com o teste de Tukey.....	66
Figura 15. Fração do estoque de liteira lenhosa e não-lenhosa nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2010, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA. Onde: FS= floresta secundária; P= paricá; R= roça; S= sistema silvipastoril. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (dentro do mesmo mês) e minúscula (dentro de um mesmo sistema de produção) não apresentam diferenças estatísticas entre si.....	68
Figura 16. Densidade do solo, ao longo de diferentes profundidades, em sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.....	73
Figura 17. Concentração de carbono do solo, ao longo de diferentes profundidades, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e física do solo de sistemas agropecuários e de floresta secundária, em diferentes profundidades, no município de Mãe do Rio, PA.....	41
Tabela 2. Composição florística das espécies vegetais presentes na área de floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.....	43
Tabela 3. Caracterização da precipitação durante o período experimental.	54
Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) para temperatura e umidade do solo.....	60
Tabela 5. Matriz de correlação entre as variáveis climáticas disponíveis e a respiração do solo. Onde: Triângulo inferior – correlação de Pearson; triângulo superior – significância da correlação.....	63
Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para o estoque de liteira lenhosa e não-lenhosa no solo de diferentes sistemas agropecuários e floresta secundária no Município de Mãe do Rio.....	67
Tabela 7. Variação temporal do estoque de carbono da liteira não-lenhosa em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária, no município de Mãe do Rio, PA.....	70
Tabela 8. Estoque de carbono no solo em diferentes profundidades, nos sistemas de produção agropecuários e floresta secundária, no município de Mãe do Rio, PA.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ar	Argônio
AS	Peso da amostra seca
	Dióxido de carbono
C	Carbono
CH <sub>4</sub>	Metano
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLN	Camada Limite Noturna
CM	Camada de Mistura
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CR	Camada Residual
CS	Camada Superficial
DAP	Diâmetro Altura do Peito
Ds	Densidade do Solo
EC	Estoque de carbono
EGM – 4	<i>Environment Gas Monitor</i> ( Monitor de Gás Ambiental)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
He	Hélio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICRAF	The World Agroforestry Centre (Centro Mundial Agroflorestal)
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
IR	Infravermelho
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
N <sub>2</sub>	Nitrogênio Diatômico
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
Ne	Neônio
O <sub>2</sub>	Oxigênio Diatômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PPL	Produtividade Primária Líquida
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i> (Polivinilcarbono)
RPCH	Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica
SAFs	Sistemas Agroflorestais
SEPOF	Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças
SHIFT	Studies of Human Impacts on Forest and Floodplains in the Tropics (Estudos de impactos humanos nas florestas e várzeas dos trópicos)
SRC 1	<i>Soil Respiration Chamber</i> (Câmara de Respiração do Solo)
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
V	Volume

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 ELEMENTOS TEÓRICOS</b> .....	20
2.1 AGRICULTURA FAMILIAR NO NORDESTE PARAENSE E SEUS PRINCIPAIS SISTEMAS AGROPECUÁRIOS.....	20
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E GASES DE EFEITO ESTUFA.....	23
2.3 CICLO GLOBAL DO DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ).....	24
2.4 SEQUESTRO DE CARBONO.....	27
2.5 IMPORTÂNCIA DA LITEIRA E SUA RELAÇÃO COM A DINÂMICA DE CARBONO NOS ECOSISTEMAS TERRESTRES.....	28
2.6 ESTOQUE E EMISSÃO DE CARBONO NO SOLO.....	30
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	34
3.1 OBJETIVO GERAL.....	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	34
<b>4 HIPÓTESES CIENTÍFICAS</b> .....	35
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	36
5.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	36
5.2 MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	44
5.3 EMISSÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) DO SOLO.....	45
<b>5.3.1 Umidade do solo e medições complementares</b> .....	48
5.4 ESTOQUE DE CARBONO.....	48
<b>5.4.1 Estoque de carbono na liteira</b> .....	49
<b>5.4.2 Estoque de carbono no solo</b> .....	50
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	52
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	54
6.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	54
6.2 EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) DO SOLO.....	55
<b>6.2.1 Emissão anual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo</b> .....	59
<b>6.2.2 Temperatura e umidade do solo</b> .....	60
<b>6.2.3 Correlação da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo com a umidade e temperatura do solo</b> .....	63
6.3 ESTOQUE DE LITEIRA NO SOLO.....	65
<b>6.3.1 Estoque de carbono na Liteira</b> .....	70

6.4 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	71
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A temperatura média da Terra é de aproximadamente 15°C, e é mantida com a existência natural de gases, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), vapor d'água (H<sub>2</sub>O) e de substâncias como partículas de aerossóis que ficam suspensas na atmosfera, formando uma camada que aprisiona parte do calor solar (D'AMELIO, 2006). A inexistência desses gases e partículas resultaria em um ambiente terrestre extremamente frio, com temperatura média de -17°C (BARKER, 2007). O fenômeno de aquecimento da atmosfera, chamado efeito estufa, possibilita a existência de vida, bem como a grande diversidade de organismos na Terra.

As elevadas emissões de gases, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, associadas às atividades agropecuárias (ANDREAE; MERLET, 2001), têm sido apontadas como um fator antropogênico de grande contribuição para o aquecimento da atmosfera (IPCC, 2001). Dessa forma, nos últimos anos, esforços de pesquisa têm sido direcionados para compreender o impacto dos sistemas de produção agropecuária sobre a emissão e o armazenamento de carbono, pois tais conhecimentos, que ainda são poucos para a região Amazônica, são fundamentais para aperfeiçoar os sistemas de produção visando ao desenvolvimento sustentável (ALVES et al., 2006).

As trocas de energia, água e CO<sub>2</sub> entre as superfícies vegetadas e a atmosfera têm um papel relevante na dinâmica dos processos que envolvem a superfície-atmosfera (MAHRT, 1998; WILLIAMS; SCANLON; ALBERTSON, 2007). A temperatura e a umidade do solo são fatores importantes para os mecanismos de respiração do solo (respiração autotrófica e heterotrófica) e, conseqüentemente o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera (ALMAGRO et al., 2009). Por isso, tornam-se indispensáveis as medições dos fatores climáticos, como precipitação, em estudos experimentais com intuito de quantificar o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo (ALMAGRO et al., op. cit.), além dos esforços de simulação numérica. Outra importância da temperatura e umidade do solo e do ar é a influência de ambas sobre a Produtividade Primária Líquida (PPL) em um determinado ecossistema. A PPL tem sido reconhecida há muito tempo como um processo funcional chave em ecossistemas, em função do seu papel estratégico no ciclo do carbono e fluxo de energia em diversos ecossistemas (RAICH; SCHLESINGER, 1992; RAICH; POTTER; BHAGAWATI, 2002).

A região Nordeste Paraense constitui-se em uma das mais antigas áreas de colonização da Amazônia, processo este que se desenvolveu com maior intensidade com a consolidação da estrada de ferro Belém-Bragança, a partir do final do século XIX. Atualmente, a paisagem da região caracteriza-se por um alto grau de antropização, sendo dominada por áreas de vegetação secundária resultantes da agricultura tradicional (derruba-e-queima), que se caracteriza pela intensidade de uso da terra em curtos períodos de pousio (METZGER, 2002). No entanto, a sustentabilidade do sistema de agricultura tradicional depende, principalmente, de pousios suficientemente longos para restabelecer os estoques de nutrientes e matéria orgânica utilizados e/ou perdidos no período agrícola (KATO et al., 2004). A utilização da derruba-e-queima na agricultura, apesar de ser considerada uma prática barata, rápida e mais eficaz do que outros métodos usados na agricultura tradicional, é considerada como um grande problema agrícola no mundo, devido aos seus efeitos negativos para o meio ambiente (SAMPAIO; KATO; SILVA, 2008).

O aumento populacional e a redução da disponibilidade de florestas secundárias na região têm pressionado no sentido de diminuir progressivamente o período de pousio e aumentado a pressão sobre áreas ripárias (ambiente de transição entre os meios terrestres e aquáticos). Esse cenário resulta em degradação do solo, impactos negativos sobre recursos hídricos e ameaça à diversidade biológica, contribuindo significativamente para reduzir a sustentabilidade de unidades rurais familiares, com reflexos expressivos em escala de paisagem (ALVES et al., 2006).

O cenário de reduzida sustentabilidade de sistemas de produção agropecuária em áreas intensamente cultivadas de forma inadequada, aliado aos impactos das mudanças climáticas associadas com as elevadas emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa para a atmosfera, têm levado à busca de sistemas de produção agropecuária sustentáveis que associem menor emissão de gases de efeito estufa e alto potencial de mitigação (ALVES et al., op. cit.).

O seqüestro de carbono pelo solo e pela vegetação a partir da atmosfera representa um componente importante na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, assim como uma oportunidade adicional de renda no meio rural (IPCC, 2001). A inclusão de agricultores familiares nos diferentes mercados de créditos de

carbono exigirá pesquisas capazes de quantificar a capacidade de seqüestro de carbono e as emissões de gases de efeito estufa nos diferentes sistemas de uso da terra por eles desenvolvidos. Esse tipo de estudo ainda tem sido pouco freqüente nos sistemas de produção agropecuária predominantes na região Nordeste do Pará, em especial naqueles que adotam a derruba-e-trituração ou derruba-e-queima da vegetação secundária no preparo da área (DAVIDSON et al., 2008), assim como nos sistemas agroflorestais (TAKIMOTO; NAIR; NAIR, 2008), que são considerados alternativos aos sistemas tradicionais de derruba-e-queima (KATO et al., 2004) dessa região.

O uso frequente do fogo na agricultura vem, direta ou indiretamente, contribuir para a emissão de gases, como o CO<sub>2</sub>, para a atmosfera e, conseqüentemente, para o aquecimento global do planeta (DIAZ et al., 2003). A aplicação de técnicas menos agressivas ao meio ambiente, como o sistema de trituração da vegetação secundária é responsável por emitir até cinco vezes menos gases de efeito estufa do solo que o sistema convencional de queima (DAVIDSON et al., op. cit.).

Menor ênfase tem sido dada à pesquisa do armazenamento de carbono em sistemas alternativos de uso da terra como agroflorestas (SCHROTH et al., 2002), reconhecidas como estratégicas na mitigação, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (BARKER et al., 2007). Dessa forma, particularmente devido à importância da agricultura familiar na região amazônica, é de extrema relevância avaliar e comparar o impacto dos sistemas de produção agropecuária tradicional (derruba-e-queima) e alternativo (derruba-e-trituração) sobre a emissão de gases, como o CO<sub>2</sub>, e o estoque de carbono do solo, para subsidiar intervenções, como as de políticas públicas, visando à sustentabilidade dos sistemas de produção.

## 2 ELEMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 AGRICULTURA FAMILIAR NO NORDESTE PARAENSE E SEUS PRINCIPAIS SISTEMAS AGROPECUÁRIOS

A agricultura familiar pode ser entendida como aquela em que a família, ao mesmo tempo em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo (BOLFE; SIQUEIRA; BOLFE, 2007). A definição de agricultura familiar adotada pela Organização das Nações Unidas (ONU) e o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) considera três características: 1) a gerência da propriedade rural é feita pela família; 2) o trabalho é desempenhado na sua maior parte pela família; e 3) os fatores de produção pertencem à família (exceção, às vezes, da terra) e são passíveis de sucessão em caso de falecimento ou aposentadoria dos gerentes. Dessa forma, Soares (2010) categorizou agricultores familiares como aqueles que possuem na agricultura sua principal fonte de renda e cuja força de trabalho vem, fundamentalmente, dos membros da família.

O segmento familiar da agricultura brasileira, ainda que muito heterogêneo, responde por expressiva parcela da produção agropecuária e do produto gerado pelo agronegócio brasileiro, devido ao seu inter-relacionamento com importantes segmentos da economia (GUILHOTO et al., 2007). A agricultura familiar responde por quase 85% dos estabelecimentos agrícolas do Brasil (MDA, 2009).

A região Norte, com uma fronteira agrícola em expansão, tem grande participação do segmento familiar. No Pará, por exemplo, a principal atividade familiar é a fruticultura, seguida da produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), arroz (*Oryza sativa* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (GUILHOTO et al., op. cit.). Segundo o sistema de informações territoriais do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA, 2011), o Nordeste Paraense abrange uma área de 69.038,40 km<sup>2</sup>, composto por 20 municípios e com população de 640.568 habitantes, dos quais 23.542 são agricultores familiares.

Grande parte dos agricultores rurais do Nordeste Paraense pratica o sistema agrícola de corte-e-queima da floresta secundária, alternando os períodos de cultivo [principalmente de milho (*Zea mays*) e mandioca] com os de pousio, ocasião em que a vegetação secundária se desenvolve para o próximo período de cultivo. Tal prática é preocupante por causar constantes perdas de nutrientes (98%

de carbono; 96% de nitrogênio; 76% de enxofre; 48% de potássio; 47% de fósforo; 40% de magnésio e 30% de sódio) (MACKENSEN et al., 1996), degradação do solo, emissões de CO<sub>2</sub> à atmosfera e riscos de incêndio florestais (HÖLSCHER et al., 1997; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999). SOMMER (2000) estimou uma perda de 21,5 Mg C e 372,0 kg N ha<sup>-1</sup> na queima de uma floresta secundária de sete anos de idade na referida região.

O sistema de roça, caracterizado pelo corte e queima da área, embora tenha garantido a permanência de grande parte da população na região Nordeste do Pará, permitindo a reprodução familiar e a produção agrícola por centenas de anos, tem se tornado insustentável (OLIVEIRA, 2006), particularmente do ponto de vista ecológico. Agricultores familiares da região são geralmente excluídos de políticas públicas governamentais e não têm acesso a crédito, assistência técnica, transporte, comercialização e, por isso, apresentam raras perspectivas de progresso. A partir dessa realidade tais agricultores resolveram inovar expandindo os tradicionais sítios ou quintais para outras parcelas de suas unidades produtivas em forma de sistemas agroflorestais (SAFs).

Sistemas agroflorestais são aqueles em que se combinam, de maneira consecutiva ou simultânea, na mesma unidade de aproveitamento da terra, espécies arbóreas perenes com cultivos agrícolas anuais, e/ou animais, para obter permanentemente maior produção (ICRAF, 1983). Nair; Gordon; Mosquera-Losada (2008) fazem referência aos benefícios sociais e ambientais oriundos das interações ecológicas mais complexas desses sistemas e da variedade de produtos e serviços prestados pelos mesmos. Sanguino et al. (2007) definem sistemas agroflorestais como um conjunto de tecnologias e sistemas de uso da terra, onde espécies florestais são utilizadas conjuntamente com culturas agrícolas e/ou atividades pecuárias em uma mesma área, dentro de um arranjo espacial e/ou seqüência temporal. A partir desta perspectiva de manejo ecológico dos ecossistemas e na busca de sistemas menos agressivos ao solo, na década de 1980 surgiu o projeto de inovação e difusão tecnológica SHIFT-Capoeira (atualmente TIPITAMBA) na Embrapa Amazônia Oriental, visando a desenvolver alternativas no preparo de áreas agrícolas, que substituíssem o procedimento de corte-e-queima das florestas secundárias (SANTOS, 2006).

O sistema alternativo adotado pelo projeto TIPITAMBA envolve corte-e-trituração mecanizada da vegetação secundária, proporcionando recuperação

gradual do solo, pela oferta de nutrientes e carbono, bem como incorpora boa parte dos nutrientes nos solos de baixa fertilidade que são vulneráveis ao processo de derruba e queima (SAMPAIO; KATO; SILVA, 2008). Somando-se a isso, as raízes da vegetação secundária desempenham papel relevante na ciclagem dos nutrientes lixiviados no perfil do solo, pois reciclam os nutrientes das camadas mais profundas do solo para a superfície (SOMMER, 2000; WICKEL, 2004).

Além dos sistemas agroflorestais encontrados na região Nordeste do Pará, outros plantios em monocultivos são comuns em áreas de produtores familiares, como feijão, arroz, mandioca, milho, algodão (*Gossypium hirsutum* L.), pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), melancia (*Citrullus vulgaris* Schrad.), malva (*Malva* sp.) e algumas espécies florestais, como paricá (*Schizolobium amazonicum*).

O paricá é árvore decídua podendo atingir 40 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), medido a 1,30 m do solo, na idade adulta (AMATA, 2009). Ocorre em mata primária e secundária de terra-firme e várzea alta, apresentando rápido crescimento (RONDON, 2002). As áreas escolhidas para o plantio da cultura no Pará são pastagens degradadas e/ou abandonadas, florestas secundárias de pouca idade ou cultivos de grãos que não são mais usadas, ou seja, áreas não mais exploradas por lavouras ou pastagens (AMATA, op. cit.). O espaçamento é um fator importante para o crescimento e desenvolvimento da cultura, sendo a maioria dos plantios estabelecidos em espaçamentos 4 x 3 m ou 4 x 4 m, e em pleno sol (RONDON, op. cit.).

Sistemas silvipastoris caracterizam-se pela incorporação simultânea de árvores e arbustos com criação de animais (FRANKE; FURTADO, 2001), cujo objetivo principal é a geração de produtos e serviços a partir da integração destes componentes (DIAS-FILHO, 2011). Segundo este autor, na Amazônia brasileira as espécies que podem ser integradas a esse tipo de sistema são as nativas, como paricá (*S. amazonicum*), mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) e andirobeira (*Carapa guianensis*) e as exóticas, acácia-australiana (*Acacia mangium*) e mogno-africano (*Khaya ivorensis*). Trata-se de um sistema bastante difundido e com grande potencial para a produção de madeira (celulose/lenha) e fruto, além de maximizar a produção por unidade de área. Por tais características tem sido recomendado para diversos ecossistemas da América Latina (OLIVEIRA et al., 2003; MURGUEITIO et al., 2010). Pastagens convencionais podem ser naturalmente eficientes em

seqüestrar o CO<sub>2</sub> da atmosfera para o solo (DIAS-FILHO, 2011), desde que sejam bem manejadas (MAIA et al., 2009; GERBER et al., 2010).

Na região do Nordeste paraense a mandioca é a principal cultura de subsistência plantada por agricultores familiares, especialmente por ser uma rica fonte de carboidrato e uma das principais fontes de renda em função da comercialização da farinha e de outros subprodutos da espécie (CRAVO et al. 2005).

## 2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E GASES DE EFEITO ESTUFA

A atmosfera compreende diversas camadas esféricas, cada qual caracterizada por alterações abruptas nos gradientes de temperatura, resultado de diferenças na absorção da energia solar. A camada limite é a camada mais próxima da superfície da Terra e está envolvida na ciclagem química dos nutrientes vitais do planeta (MILLER Jr., 2007).

Os principais componentes de uma atmosfera terrestre, não poluída, são vapor d'água (H<sub>2</sub>O), nitrogênio diatômico (N<sub>2</sub>, cerca de 80% das moléculas da atmosfera), oxigênio diatômico (O<sub>2</sub>, cerca de 20%), argônio (Ar, cerca de 0,93%), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>, cerca de 0,04%), Neônio (Ne, cerca de 0,0018%), Hélio (He, cerca de 0,0005%), dentre outros (BAIRD, 2002). Esses gases podem absorver temporariamente luz infravermelha (IR) térmica de comprimentos de onda longa, que é reemitida pela superfície terrestre. Sendo assim, nem todo IR emitido pela superfície da terra e pela atmosfera escapa diretamente para o espaço. Após sua absorção pelas moléculas presentes no ar, a luz IR é reemitida em todas as direções. Uma parte do IR térmico é direcionada à superfície, sendo reabsorvida, e conseqüentemente provocando o aquecimento da superfície e evitando forte resfriamento do ar. Tal fenômeno é denominado de efeito estufa, responsável por manter a temperatura da Terra em aproximadamente +15°C (BAIRD, op. cit.).

As mudanças no clima do planeta Terra não são novas e nem incomuns. Durante os últimos 4,7 bilhões de anos, o clima foi alterado por emissões vulcânicas, mudanças na intensidade solar, movimento dos continentes em razão do deslocamento das placas tectônicas, choques com grandes meteoros, entre outros fatores (MILLER Jr., op. cit.). A mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século. No século XX, registrou-se um aumento de

cerca de 0,6 °C na temperatura média da Terra, sendo o maior aumento já observado nos últimos 1000 anos (IPCC, 2001).

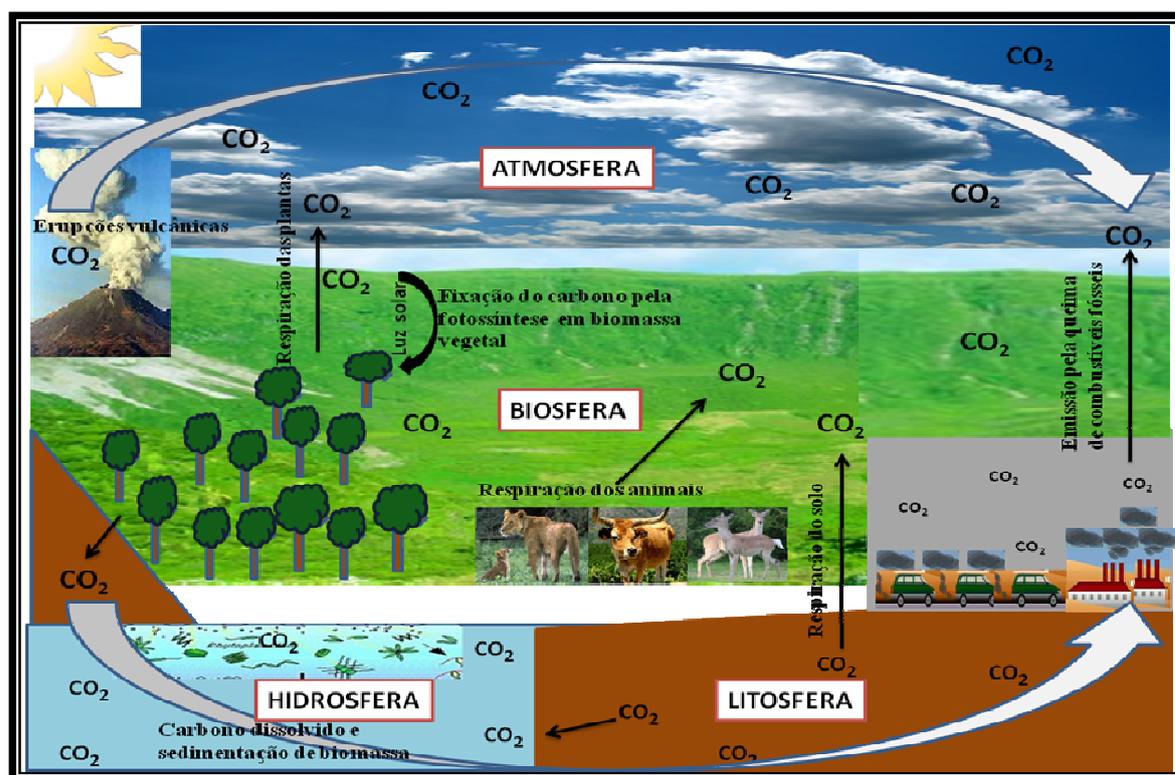
O aquecimento global caracteriza-se pelo aumento da temperatura média da terra em um curto período e vem sendo causado pela intensificação do efeito estufa, que, por sua vez, está relacionado ao aumento da concentração, na atmosfera da Terra, de determinados gases, principalmente de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e óxido N<sub>2</sub>O e também vapor d'água (IPCC, op. cit.). O aumento na concentração de gases de efeito estufa e aerossóis da atmosfera levam a uma maior absorção de radiação térmica e, conseqüentemente, ao aumento da temperatura global (BAIRD, 2002; IPCC, 2007). Segundo previsões, esse aumento de temperatura irá ocasionar mudanças significativas no clima da Terra e, conseqüentemente, impactos nos meios biológico, social, econômico (MARENGO, 2006).

Algumas conseqüências notáveis do aquecimento global já têm sido observadas, como o derretimento das geleiras e um aumento de aproximadamente 10 cm no nível do mar, em um século. Os modelos globais de clima projetam para o futuro, ainda com algum grau de incerteza, possíveis mudanças em extremos climáticos, como ondas de calor, ondas de frio, chuvas intensas, furacões e ciclones tropicais e extratropicais (MARENGO, op. cit.).

### 2.3 CICLO GLOBAL DO CARBONO

O carbono é o elemento base do qual se constituem todas as moléculas orgânicas, sendo capaz de realizar quatro ligações químicas ao mesmo tempo com outros átomos de carbono ou outros elementos, permitindo a formação de moléculas bastante complexas. O carbono está presente, em grande parte, nos compartimentos existentes no planeta Terra, como na hidrosfera, litosfera, atmosfera e biosfera, em um constante ciclo, denominado de ciclo global do carbono (Figura 1) (ADUAN et al., 2004; MACHADO, 2005).

Figura 1 - Modelo esquemático do ciclo global do carbono.



Fonte: Do autor.

Estima-se que a quantidade de carbono dissolvido encontrado nos oceanos é de aproximadamente 38.000 PgC. Já nos continentes, o maior reservatório de carbono é encontrado nos solos, com aproximadamente 40.000 PgC. Na atmosfera são encontrados cerca de 750 PgC e acredita-se que 560 PgC estejam estocados em vegetações (GRACE, 2001).

De acordo com Nobre (2008), as observações realizadas pelo observatório de Mauna Loa, no Havaí, desde 1958 até o presente, revelam que a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida para atmosfera por ações antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, chegou a atingir 6,4 Gt C/ano, enquanto que as práticas de desflorestamentos tropicais, cerca de 1,6 Gt C/ano. A remoção do CO<sub>2</sub> atmosférico pelas plantas alcançou cerca de 3,0 Gt C/ano, e pelos oceanos 1,8 Gt C/ano, restando, aproximadamente, 3,2 Gt C/ano que se acumulam na atmosfera.

Medidas tomadas a partir de amostras de ar aprisionado no interior de blocos de gelo na Antártida indicam que a concentração atmosférica média de CO<sub>2</sub> em épocas pré-industriais (antes do ano de 1750) era de aproximadamente 280

ppm, tendo aumentado cerca de 30%, para 365 ppm, em 1998 (BAIRD, 2002) e para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007).

Segundo Fearnside (2003) cerca de 75% do carbono em áreas florestais é encontrado na parte vegetativa, e uma das principais fontes da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera são as práticas de desmatamento no Brasil (RIVERO et al., 2008), tal prática é motivada pela conversão de florestas em sistemas pecuários e agrícolas que utilizam a prática de corte-e-queima e a exploração madeireira (ARIMA; BARRETO; BRITO, 2005; FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005). O carbono que é liberado pelo desmatamento é incorporado à biomassa da floresta secundária que se desenvolve em áreas de cultivos abandonados (KATO et al., 2004; RIVERO et al., 2008 ).

A floresta amazônica, como grande representante da biodiversidade planetária e por apresentar um papel muito importante na interação terra-atmosfera, no ciclo hidrológico, na produtividade do planeta e de seu balanço de carbono (VISWANADHAM et al., 1990; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007), já foi objeto de várias pesquisas com o intuito de entender seu papel no balanço global de carbono e no clima da Terra (GASH et al., 1996; SOUZA et al., 1996).

De acordo com Alencar; Nepstad; Moutinho (2005), a emissão de carbono em áreas florestais varia em função da estimativa de biomassa, a qual depende do tipo de vegetação e das condições ambientais, que são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que é depositado no solo, influenciando a heterogeneidade e a taxa de decomposição do material depositado, e conseqüentemente a reposição de CO<sub>2</sub> à atmosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

O CO<sub>2</sub> encontrado em grande quantidade na camada limite atmosférica (CLA), porção mais baixa da troposfera (STULL, 1988), é variável ao longo do dia, diminuindo à medida que as plantas começam o seu processo fotossintético (BETTS, 2004), o qual ocorre nas células clorofiladas por trocas gasosas que ocorrem através dos estômatos. As plantas perdem água, por transpiração, e absorvem o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera, por difusão, transformando o carbono em compostos orgânicos energéticos (MILLER JR., 2007; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

## 2.4 SEQUESTRO DE CARBONO

De acordo com o IPCC (2005), existem dois tipos de sequestro de carbono, o direto e o indireto. O sequestro de carbono direto, também conhecido como sequestro artificial ou geológico de carbono, resulta de separação e captura do CO<sub>2</sub> gerados em processos industriais e em processos relacionados à geração e/ou consumo de energia, seguido de transporte para um local de estocagem segura, de modo que ocorra o isolamento do gás em relação à atmosfera por um longo período de tempo. No sequestro de carbono indireto, o CO<sub>2</sub> atmosférico é removido por processo natural, em que o CO<sub>2</sub> é absorvido pela fotossíntese e incorporado à biomassa do vegetal durante o seu crescimento. Dias-Filho (2006) definiu sequestro de carbono como sendo aquele em que o carbono da atmosfera, na forma de dióxido de carbono, é removido do ar e armazenado nos tecidos das plantas por meio da fotossíntese.

O sequestro de carbono em um determinado ambiente é quantificado pela estimativa da biomassa vegetal acima e abaixo do solo, pelo cálculo do carbono estocado nos produtos madeireiros e pela quantidade de CO<sub>2</sub> absorvido no processo de fotossíntese (ANDRADE; IBRAHIM, 2003). Estima-se que aproximadamente 40% da massa seca de uma planta é formada por carbono fixado na fotossíntese (DIAS-FILHO, op. cit.). Logo, os maiores estoques de carbono dos ecossistemas terrestres estão presentes, respectivamente, no solo e na vegetação (BEEDLOW et al., 2004).

As diferentes práticas agrícolas do uso da terra, como aração, gradagem e fertilização influenciam o sequestro potencial e estoque de carbono no solo. O tipo de solo e as condições climáticas também são fatores que influenciam o sequestro de carbono (GROSH et al., 2006). Dessa forma, estudos têm demonstrado que as florestas naturais, pastagens e/ou plantações florestais podem influenciar a distribuição do carbono nos diferentes componentes do material orgânico do ecossistema, tais como solo, serrapilheira, raízes e biomassa (ANDRADE, 1997; COSTA et al., 2008).

A importância da vegetação secundária em sequestrar carbono atmosférico tem sido investigada em diversas regiões tropicais do planeta (p. ex., SALDARRIAGA et al., 1988; SILVER; OSTERTAG; LUGO, 2000; JOHNSON et al., 2001). Porém, de acordo com Wandelli (2008) a intensidade da regeneração natural na compensação das emissões resultantes do desmatamento tem sido

superestimada, pois se tem negligenciado a análise de que estas áreas são geralmente queimadas subsequentemente e que sua capacidade regenerativa pode ser comprometida pelo histórico de uso prévio da terra.

O desmatamento, bem como a substituição de florestas naturais por ecossistemas de pastagens na Amazônia brasileira, são práticas que podem alterar a concentração e o estoque de carbono no solo. Estima-se que, até 2007, cerca de 691.123 km<sup>2</sup> foram desmatados na Amazônia Legal (INPE, 2008), e que do total desmatado, cerca de 80 a 90% tem sido utilizado com pastagens, principalmente manejadas de forma extensiva (BRASIL, 2004; MULLER et al., 2004). Após o desmatamento e queima da floresta, grande quantidade de carbono é perdido a partir da biomassa acima do solo, sendo que a maioria é emitida para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> (ARAÚJO, 2008). A conversão de florestas em pastagens libera 100 a 200 t de C ha<sup>-1</sup>, proveniente da biomassa da floresta, para a atmosfera (DIAS-FILHO; DAVIDSON; CARVALHO, 2001) e pode resultar em um aumento de até 54% no estoque de carbono, nos primeiros 30 cm do solo, durante os primeiros 100 anos de uso, podendo aumentar após este período (CERRI et al., 2003).

Uma técnica bastante eficaz na agricultura para aumentar os estoques de carbono orgânico no solo, é a utilização de sistemas de plantio direto, que é uma técnica de cultivo conservacionista na qual procura-se o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. As práticas de plantio direto têm levado a menores perdas totais de nutrientes e matéria orgânica, desde que incluam um esquema de rotação de culturas diversificado (D'ANDRÉA et al., 2004).

## 2.5 IMPORTÂNCIA DA LITEIRA E SUA RELAÇÃO COM A DINÂMICA DE CARBONO NOS ECOSISTEMAS TERRESTRES

A liteira pode ser entendida como a cobertura de detritos orgânicos do solo, particularmente de origem vegetal (TAPIA-CORAL; LUIZÃO; WANDELLI, 1999), e que está intimamente ligada com a ciclagem de nutrientes nos diferentes ecossistemas terrestres. É também definida como a massa orgânica vegetal produzida por unidade de área, podendo ser expressa em massa seca, massa úmida e/ou massa de carbono (ODUM; BARRETT, 2008). O tecido vegetal é formado, especialmente, por carbono e nutrientes minerais cujas concentrações

variam com a espécie, a fase de desenvolvimento, o estado nutricional, as condições edafoclimáticas e com a parte do vegetal considerada (LARCHER, 2004).

O tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores que determinam a quantidade e a qualidade do material que é depositado na superfície do solo, influenciando a sua heterogeneidade e taxa de decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Esta última é dependente de processos de transformação da matéria orgânica pelos microrganismos do solo (SPARLING, 1992). Outro fator importante para o acúmulo de biomassa no solo é o tipo de sistema agrícola implantado após o preparo de área (SILVA, 2009).

Inúmeros trabalhos têm concluído que a produtividade da liteira é maior em ecossistemas florestais diversificados, do que em monocultivos (SCHERER-LORENZEN; BONILLA; POTVIN, 2007; SILVA, 2009). Ecossistemas florestais são capazes de absorver e reciclar todos os nutrientes liberados por folhas, galhos, troncos, sementes e animais mortos que são depositados no solo (MEIRELLES FILHO, 2006). A biomassa aérea depositada no solo é convertida em necromassa, após a decomposição por microrganismos do solo. Tal necromassa desempenha papel fundamental na manutenção dos teores de matéria orgânica e nutrientes do solo (FERREIRA et al., 2001), bem como na ciclagem do carbono no solo, que é dependente de fatores bióticos e abióticos dos ecossistemas terrestres (ALBRECHT; KANDJI, 2003).

A determinação do estoque e da produção de liteira lenhosa e não lenhosa e o do fluxo de nutrientes nos resíduos vegetais é fundamental em florestas nativas exploradas, assim como em florestas secundárias, pois permite conhecer e/ou quantificar os impactos da extração seletiva de madeira na vegetação remanescente, e a dinâmica do carbono dentro desses diferentes ecossistemas (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000). Para se calcular o acúmulo de carbono em um dado ecossistema deve-se quantificar os estoques de fitomassa nos diferentes compartimentos das plantas (KELLER et al., 2004). Espécies vegetais distintas armazenam diferentes quantidades de carbono em sua fitomassa, assim como locais distintos dentro de um mesmo ecossistema promovem variação na quantidade de fitomassa (POGGIANI; SCHUMACHER, op. cit.; KELLER et al., 2004).

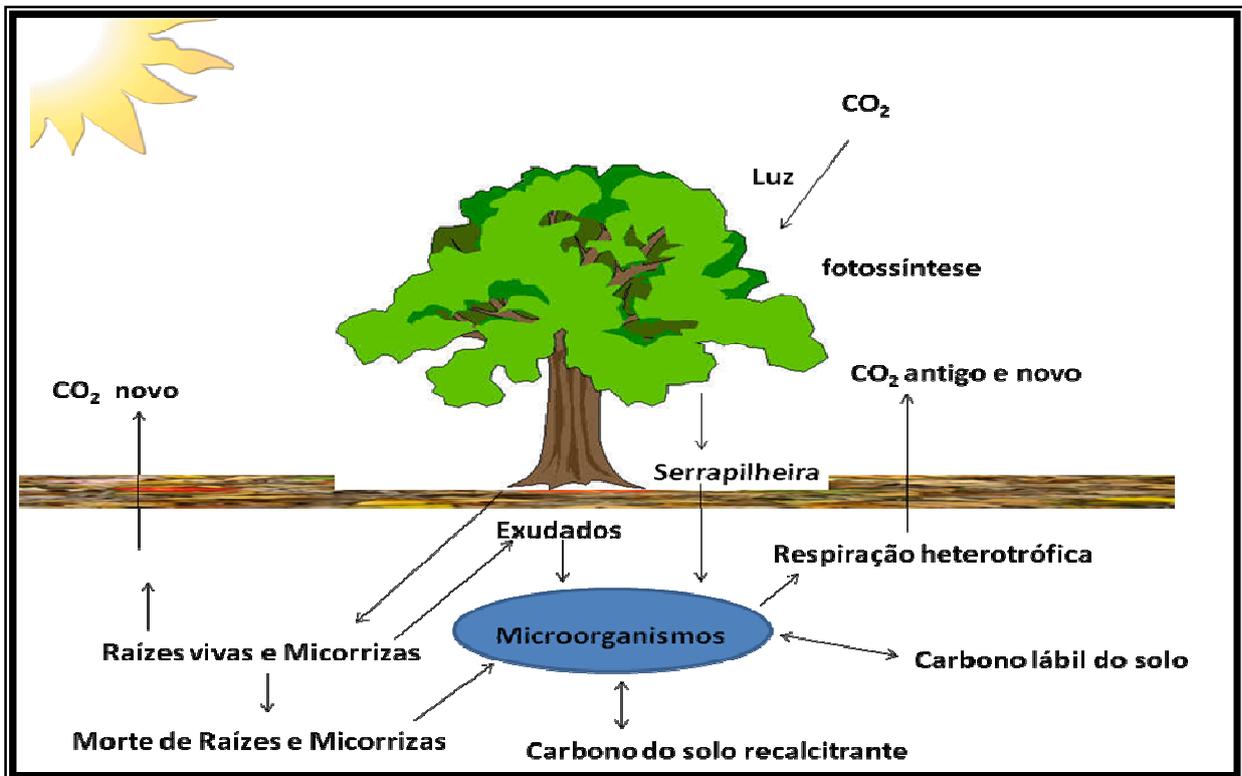
## 2.6 ESTOQUE E EMISSÃO DE CARBONO NO SOLO

Como o solo é a terceira maior reserva de carbono do planeta e a agricultura a principal atividade relacionada com o uso do solo, estudos vêm sendo conduzidos (p.ex., DAVIDSON et al., 2002; IPCC, 2007) visando ao desenvolvimento de tecnologias que permitam recuperar e/ou aumentar os estoques de carbono, contribuindo dessa forma para a redução dos níveis de CO<sub>2</sub> da atmosfera. O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera resulta das interações entre o clima e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como, textura, estrutura, infiltração e densidade do solo, pH, teor de nutrientes, condutividade elétrica, biomassa microbiana, mineralização de nutrientes, atividade enzimática e respiração do solo e de raízes (URQUIAGA et al., 2005).

Entende-se como estoque de carbono no solo o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição da matéria orgânica presente no solo (MACHADO, 2005). A decomposição do carbono orgânico dissolvido e exudatos radiculares, também são fontes importantes para o estoque carbono no solo (KRÜGER et al., 2003). Os processos que envolvem a decomposição de compostos orgânicos, qualidade e quantidade do carbono no solo, atividade microbiana e emissão de CO<sub>2</sub> do solo são fortemente influenciados pelo clima, principalmente temperatura e umidade do solo e do ar (DAVIDSON et al., op. cit.; SOTTA et al., 2004; MACHADO, op. cit.; RYAN; LAW, 2005).

A discussão sobre o estoque de carbono no solo exige o entendimento sobre o ciclo biogeoquímico do carbono (contínuo solo-planta-atmosfera) (Figura 2), que se inicia com o lançamento de CO<sub>2</sub>, em grande quantidade para a atmosfera, especialmente a partir da respiração de animais e vegetais, mudança no uso da terra e queima de combustíveis fósseis. Em seguida, o CO<sub>2</sub> atmosférico é absorvido pelas plantas, via estômatos, para a realização da fotossíntese, processo pelo qual plantas, certas bactérias e algas, utilizando a luz como fonte de energia, absorvem CO<sub>2</sub> da atmosfera e o combinam com a água, liberando o oxigênio para o ar e formando carboidratos, que podem ser armazenados nos tecidos das plantas (DIAS-FILHO, 2006; RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007). É, portanto, uma síntese de açúcares realizada à custa de energia solar, em que vegetais transformam energia radiante (eletromagnética) em energia química (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + Energia luminosa → Carboidrato (CH<sub>2</sub>O) + O<sub>2</sub>) (FERRI, 1985).

Figura 2 - Ciclo biogeoquímico do carbono no ecossistema terrestre (interação solo-planta-atmosfera).



Fonte: Adaptado de Ryan e Law (2005).

O carbono retido nas plantas é transferido para o solo via sistema radicular ou pela deposição de liteira, que após a decomposição pelos microorganismos do solo, pode ser aproveitado pelos próprios vegetais e/ou emitido de volta para atmosfera, e/ou transportado para camadas mais superficiais do solo e/ou lixiviado para outros locais no ecossistema terrestre (BARDGETT, 2005; KUTSCH; BAHN; HEINEMEYER, 2009). O estoque de carbono é variável ao longo do perfil do solo e pode apresentar desequilíbrio com práticas inadequadas de uso da terra, como desmatamentos em áreas florestais, que diminuem consideravelmente o teor de matéria orgânica e, por conseqüência, o estoque de carbono no solo. Dessa forma, é esperado que ecossistemas com grande quantidade de biomassa e solo pouco perturbado, como as florestas, retenham maior quantidade de carbono do que sistemas que utilizam práticas que degradam o meio ambiente (FEARNSIDE, 2010), como a conversão de florestas em áreas de pastagens, e quando não são manejadas adequadamente, podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente, como degradação do solo, perda da fertilidade,

desequilíbrios para fauna e flora, além de contribuir para maiores emissões de CO<sub>2</sub> para atmosfera (SALIMON, 2003).

A respiração do solo ou efluxo de CO<sub>2</sub> corresponde ao carbono que é emitido do solo para a atmosfera, funcionando como um indicador do metabolismo de ecossistemas (RYAN; LAW, 2005). O processo que envolve o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo ocorre dentro de uma camada, denominada de Camada Limite Atmosférica (CLA). Segundo Stull (1988), é a parte da troposfera diretamente influenciada pela presença da superfície da Terra e responde às forçantes superficiais em uma escala temporal de cerca de uma hora ou menos, e também apresenta uma escala vertical de, aproximadamente, 1 km. A CLA é composta por uma camada de mistura (CM), camada superficial (CS), camada residual (CR) e uma camada limite noturna estável (CLN). Cada uma dessas camadas apresenta importância significativa para a circulação geral da atmosfera, onde os processos convectivos estão intimamente ligados com a transferência de calor, umidade, CO<sub>2</sub> e momentum para as outras latitudes no globo terrestre (STULL, op. cit.; ARYA, 2001).

Após a fotossíntese, a respiração do solo é o segundo maior fluxo de carbono nos ecossistemas terrestres (DAVIDSON et al., 2002). A respiração do solo inclui a respiração de raízes (respiração autotrófica), dos organismos do solo (respiração heterotrófica) e da oxidação química do carbono (decomposição da liteira). Todo esse processo é controlado pela temperatura e umidade do solo, produtividade primária líquida, qualidade do substrato do solo, dinâmica da fauna e flora e mudanças no uso da terra (RYAN; LAW, op. cit.).

As trocas de CO<sub>2</sub> entre o solo e a atmosfera estão associadas com os processos difusivo e convectivo no solo, em que plantas e organismos aeróbicos consomem O<sub>2</sub> e liberam CO<sub>2</sub>. Devido a esses processos a atmosfera do solo, em geral, possui concentração maior de CO<sub>2</sub>, quando comparada à atmosfera acima do solo. Para que haja uma respiração máxima do solo é necessário que o conteúdo de água esteja próximo à capacidade de campo, ou seja, os macroporos do solo devem estar preenchidos de ar para facilitar a difusão do O<sub>2</sub> e os microporos do solo devem estar preenchidos de água, facilitando assim a solubilidade dos substratos (DAVIDSON et al., 2000).

Devido à grande variabilidade (espacial e temporal) do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo (NIEDER; BENBI, 2008), estimativas mais precisas requerem o emprego de diversos métodos, os quais são bastante complexos e exigentes de um amplo

conhecimento dos processos micrometeorológicos (FOKEN, 2008). As medições do efluxo de  $\text{CO}_2$  no solo podem ser realizadas das seguintes maneiras: a) manualmente, com uso de câmaras de respiração do solo (não automáticas), que permitem boa cobertura da variabilidade espacial; b) medições automáticas (câmaras acopladas a um analisador de gás por infravermelho), que permitem boa cobertura de variabilidade temporal; c) métodos das covariâncias (“*Eddy covariance*”), que propiciam uma medida direta da troca líquida, ou seja, da quantidade absorvida ou emitida de dióxido de carbono, bem como de vapor d’água e calor entre uma superfície vegetada e a atmosfera; e d) método de gradientes (medições baseadas na Lei de Fick de difusividade a partir de equações), que calcula fluxos de energia sem a necessidade de sensores de resposta rápida (medida indireta) e pode ser utilizado, as vezes, para preencher lacunas de dados deixados pelo método das covariâncias (DAVIDSON et al., 2000; KELLER et al., 2005; MYKLEBUST; HIPPS; RYEL, 2008).

Diferentes estudos (INPE, 2001; FEARNSIDE, 2003; MARENGO, 2006; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007) sobre a emissão de  $\text{CO}_2$  do solo apontam a floresta Amazônica como uma área de grande interesse de pesquisa, devido ao alto índice de desmatamento ocorrido nos últimos tempos, a conversão da floresta em pastagem e por ela apresentar grande importância no ciclo geral do carbono. Entretanto, monitorar o fluxo de  $\text{CO}_2$  entre ecossistemas de florestas e atmosfera não é tarefa fácil, pois é necessário medir os principais fluxos de entrada e saída dos gases no sistema em um ambiente de enorme heterogeneidade e complexidade espacial, tanto nos sumidouros (folhas) quanto nas fontes de  $\text{CO}_2$  (demais tecidos e organismos). Outros fatores também devem ser avaliados, como a grande quantidade de vapor d’água presente na atmosfera, o estabelecimento do regime de radiação no interior do dossel das plantas, temperatura, vento, estabilidade e instabilidade na camada limite atmosférica, etc (CARSWELL et al., 2002).

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Estimar a emissão e o estoque de carbono do solo em sistemas de produção agropecuária em unidades rurais familiares do Nordeste Paraense.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

i. Estimar a emissão do CO<sub>2</sub> do solo em sistema de produção agropecuária convencional e alternativo e em áreas de floresta secundária no Nordeste Paraense;

ii. Avaliar a relação entre a dinâmica da emissão de CO<sub>2</sub> do solo com a sazonalidade da precipitação pluviométrica e o status hídrico do solo;

iii. Determinar a dinâmica do estoque de liteira e de carbono na liteira em sistema de produção agropecuária convencional e alternativo e em áreas de floresta secundária no Nordeste Paraense; e

iv. Estimar o armazenamento de carbono no solo em sistema de produção agropecuária convencional e alternativo, assim como em área adjacente de floresta secundária, no Nordeste Paraense.

#### **4 HIPÓTESES CIENTÍFICAS**

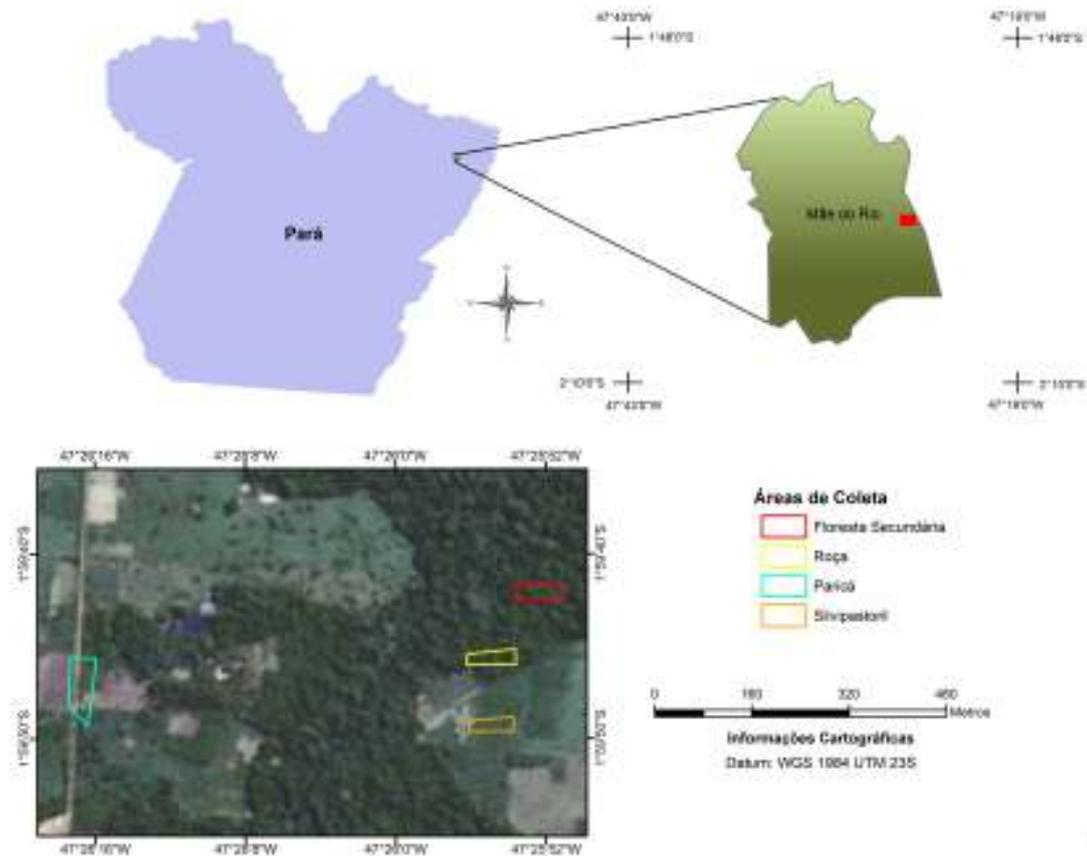
- Sistemas agrícolas convencionais emitem maior quantidade de CO<sub>2</sub> pelo solo do que sistemas agrícolas alternativos;
- Sistemas agrícolas convencionais estocam menor quantidade de carbono no solo do que sistemas agrícolas alternativos.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em área de agricultor familiar no Município de Mãe do Rio, localizado na mesorregião do Nordeste Paraense, latitude (02°02'47") e Longitude (47°33'02") (Figura 3). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a população estimada do município de Mãe do Rio, em 2010, foi de 27.904 habitantes e extensão territorial de 469.489 km<sup>2</sup>.

Figura 3 - Mapa do município de Mãe do Rio, PA, e distribuição das áreas experimentais do estudo<sup>1</sup>.



As condições climáticas prevalentes no município de Mãe do Rio enquadram-se no tipo climático Am da classificação de Köppen, quente e úmido, com precipitação pluviométrica elevada e em torno de 2500 mm durante o ano. O período mais seco ocorre entre os meses de agosto e dezembro, com temperatura oscilando

<sup>1</sup> Mapa elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

entre 26 e 28°C (VALENTE et al., 2011). A vegetação da região é a Floresta Equatorial Latifoliada, representada pelos subtipos Floresta Densa dos Platôs, Densa dos Terraços e Floresta Aluvial. Grande parte da vegetação nativa foi substituída por florestas secundárias (capoeiras) devido às ações antrópicas, como o desmatamento (SEPOF, 2011).

De modo geral os solos do município apresentam-se quimicamente muito pobres, com valores baixos para saturação por bases trocáveis, e por isso são classificados como distróficos. Os solos mais representativos são os Argissolos Amarelos Distróficos e os Latossolos Amarelos Distróficos, que apresentam boas propriedades físicas, sendo os mais utilizados na atividade agrícola (VALENTE et al., 2011).

Nesta pesquisa foram selecionados três sistemas de uso da terra (dois convencionais e um alternativo) e uma área de referência (floresta secundária). O sistema convencional consistiu da adoção da prática do corte-e-queima da vegetação secundária, enquanto que o sistema alternativo envolveu a adoção da prática de corte-e-trituração da vegetação secundária.

As áreas selecionadas para a condução das pesquisas (Figura 4) foram compostas dos seguintes sistemas:

a) Plantio de *Schizolobium amazonicum* (Paricá) - Tratamento 1. Área que envolve o sistema alternativo, com aproximadamente 1 ha, espaçamento de 4 X 4m entre plantas, com 4 anos de idade. Latitude (01°59'47") e Longitude (47°26'16") (Figura 3);

b) Sistema silvipastoril - Tratamento 2. Área convencional com aproximadamente 1 ha e 4 anos de idade, apresentando plantio de paricá (espaçamento 4 x 4 m entre plantas), braquiarião (*Brachiaria brizantha*) e criação de gado bovino, que permaneceu na área a intervalos intercalados de um mês. Latitude (01°59'49") e Longitude (47°25'54") (Figura 3);

c) Sistema da roça - Tratamento 3. Sistema convencional de aproximadamente 0,5 ha, cuja área vem sendo manejada há 4 anos da seguinte forma: no ano da implantação do experimento foi plantado apenas mandioca, enquanto que, nos anos anteriores, cultivos de mandioca foram consorciados com milho e arroz, após a queima da área. A colheita da mandioca foi realizada em março de 2010. Latitude (01°59'45") e Longitude (47°25'54") (Figura 3);

d) Floresta secundária – Tratamento 4. Área de referência com aproximadamente 1,5 ha e 15 anos de idade. Latitude (01°59'41") e Longitude (47°25'52") (Figura 3).

Figura 4 - Áreas onde foram conduzidas as pesquisas (sistema do paricá, sistema silvipastoril, sistema de roça e área de referência).



Fonte: Do autor.

Cada sistema estudado foi dividido em quatro parcelas medindo 20 x 20 m. Os sistemas apresentaram características semelhantes de solo, relevo, clima e histórico de uso da terra. O delineamento experimental foi composto de 4 tratamentos e 4 repetições. Os três sistemas de uso da terra receberam apenas adubação orgânica quando da implantação do plantio e tratos culturais de roçagem manual. As florestas secundárias anteriores à implantação dos sistemas apresentavam idade superior a 12 anos.

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70 e 70-100 cm, de quatro trincheiras por parcela, nos diferentes sistemas estudados e da floresta secundária. Para a caracterização das áreas de

estudo (Tabela 1), foram utilizadas amostras compostas de solo para análises química e física no Laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental. O solo das áreas de estudo apresentou textura do tipo arenosa, pH baixo e níveis de fertilidade do solo abaixo daqueles definidos como satisfatórios para o Estado do Pará (CRAVO et al., 2007).

Nos sistemas foram coletados dados do diâmetro à altura do peito (DAP) em indivíduos com diâmetro  $\geq$  a 5 cm e altura de 1,30 m do solo. Medições de DAP foram feitas em maio de 2011, com o auxílio de uma fita dendométrica (Figura 5). O único sistema que não teve medições do DAP, foi o tratamento 3 (sistema de roça), devido à ausência de espécies arbóreas com DAP  $\geq$  a 5 cm. No tratamento 1 (Paricá) foram medidas 95 plantas, enquanto que no tratamento 2 (sistema silvipastoril) foram medidas 76 plantas. Na área da floresta secundária foram medidas 81 espécies. Nesses sistemas a estimativa da fitomassa acima do solo foi realizada por método indireto, utilizando-se equações alométricas.

Tabela 1- Caracterização química e física do solo de sistemas agropecuários e de floresta secundária, em diferentes profundidades, no município de Mãe do Rio, PA.

Prof.	Areia	Silte	Argila	pH	MO	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al
--- cm ---	----- %	----- %	----- %	Água	g/Kg	----- mg/dm <sup>3</sup>	----- mg/dm <sup>3</sup>	----- mg/dm <sup>3</sup>	----- cmolc/dm <sup>3</sup>	----- cmolc/dm <sup>3</sup>	----- cmolc/dm <sup>3</sup>	----- cmolc/dm <sup>3</sup>
<b>PARICÁ</b>												
0-5	78,2	15,8	6,0	5,35	16,91	4,00	25,50	12,75	1,83	2,53	0,13	3,01
5-10	74,6	17,4	8,0	5,13	10,61	4,25	24,75	12,50	1,68	2,33	0,28	3,14
10-20	72,7	17,3	10,0	5,18	8,56	2,75	16,50	9,00	1,50	1,98	0,33	2,85
20-30	66,5	17,5	16,0	5,2	5,94	1,50	13,25	7,50	1,00	1,48	0,43	3,34
30-50	64,3	15,7	20,0	5,13	5,51	1,00	10,75	6,50	0,78	1,43	0,63	3,18
50-70	62,0	18,0	20,0	5,13	5,42	1,00	9,25	6,50	0,58	1,03	0,78	2,89
70-100	62,0	16,0	22,0	5,08	5,64	2,00	10,25	6,00	0,48	0,88	0,95	3,02
<b>SILVIPASTORIL</b>												
0-5	83,9	10,1	6,0	5,85	15,23	4,00	30,50	13,00	1,78	2,40	0,53	2,35
5-10	85,4	8,6	6,0	5,70	9,30	8,00	35,75	16,00	2,30	2,78	0,10	2,97
10-20	75,9	16,1	8,0	5,38	17,85	2,75	24,00	13,50	1,53	2,05	0,18	3,26
20-30	70,8	13,2	16,0	5,20	6,52	2,00	20,50	12,50	0,98	1,48	0,53	4,17
30-50	67,2	12,8	20,0	5,23	5,20	1,50	19,00	11,00	0,70	1,10	0,80	4,17
50-70	69,2	12,8	18,0	5,20	4,27	1,00	15,75	9,00	0,48	0,70	0,90	3,84
70-100	68,2	13,8	18,0	5,20	2,88	0,75	11,00	7,00	0,43	0,65	0,93	3,30
<b>ROÇA</b>												
0-5	82,3	9,7	8,0	5,25	15,94	9,50	27,50	12,75	2,15	2,68	0,38	4,75
5-10	78,4	11,6	10,0	4,98	15,79	6,00	23,25	8,25	1,20	1,58	0,75	5,32
10-20	78,9	11,1	10,0	4,78	11,25	4,00	21,00	7,50	0,60	1,05	0,90	4,58
20-30	80,9	9,1	10,0	5,00	9,06	3,00	20,00	8,00	0,40	0,63	1,00	4,29
30-50	77,9	10,1	12,0	5,00	11,34	2,00	16,25	7,00	0,45	0,78	1,15	4,66
50-70	77,8	8,2	14,0	5,18	11,43	1,75	19,25	9,25	0,40	0,65	0,98	5,20
70-100	76,9	9,1	14,0	5,15	11,27	1,25	16,50	8,00	0,33	0,50	0,65	4,95
<b>FLORESTA SECUNDÁRIA</b>												
0-5	91,1	6,9	2,0	4,48	15,04	9,00	40,25	18,75	0,85	1,23	0,58	5,04
5-10	86,2	7,8	6,0	4,20	18,00	8,75	31,25	14,75	0,63	0,98	1,03	6,65
10-20	84,2	9,8	6,0	4,10	14,66	6,00	24,25	10,50	0,45	0,70	1,15	6,03
20-30	80,3	11,7	8,0	4,30	11,21	3,25	18,00	8,50	0,35	0,48	1,28	5,61
30-50	79,4	8,6	12,0	4,65	12,31	2,00	19,50	10,75	0,30	0,43	1,50	7,35
50-70	76,5	11,5	12,0	5,05	15,53	1,00	32,75	24,00	0,30	0,53	1,18	7,88
70-100	76,4	11,6	12,0	5,18	15,79	1,00	27,75	20,25	0,30	0,53	0,78	6,64

Figura 5 - Medição de diâmetro à altura do peito (DAP) no sistema de cultivo de paricá.



Fonte: Do autor.

O estoque de biomassa na parte aérea de indivíduos de paricá foi estimado com a equação  $Y = \exp(2,4497 \times \ln(\text{DAP}) - 2,8848)$ ,  $R^2 = 0,9663$  (VASCONCELOS et al., em preparação), onde Y é biomassa acima do solo (kg).

Utilizou-se o fator 0,5 para a conversão de fitomassa em estoque de carbono (IPCC, 2007).

No total de 95 plantas medidas no sistema do paricá, a média do DAP encontrado nas quatro parcelas foi 11,6 cm, variando de 4,8 (mínimo) a 20,8 cm (máximo). No sistema silvipastoril, avaliou-se um total de 76 plantas em todas as parcelas e o DAP médio foi 8,07 cm e mortalidade de aproximadamente 33%. O maior DAP encontrado no silvipastoril foi de 16,4 cm, e o menor de 4,1 cm.

O total de biomassa encontrado no sistema do paricá por indivíduo foi de 20,55 Kg, enquanto que no sistema silvipastoril a média por indivíduo atingiu 11,23 Kg de biomassa, resultando em um estoque de carbono na parte aérea de  $10,27 \pm 1,91 \text{ Mg C ha}^{-1}$  para o paricá e  $5,62 \pm 2,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$  para o silvipastoril.

Na área de referência (floresta secundária) foi realizado um inventário florístico no qual foram identificados os indivíduos pela família, nome científico e nome vulgar. O DAP dos indivíduos medidos seguiu o mesmo critério usado no sistema com paricá. A floresta secundária tem aproximadamente 15 anos de idade e nela foram identificadas 81 espécies nativas.

As espécies mais comuns foram *Pourouma guianensis* (Embaubarana); *Socratea exorrhiza* (Paxiúba); *Astrocaryum gynacanthum* (Mumbaca); *Siparuna*

*guianensis* (Capitiú); *Euterpe oleracea* (Açaí); *Tapirira guianensis* (Tatapiririca); *Cecropia distachya* Huber (Embaúba branca) e *Apeiba burchelii* Sprague (Pente de macaco) (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição florística das espécies vegetais presentes na área de floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.

Nome científico	Nome vernacular	Família botânica	Nº indivíd.	DAP (cm) (Média ± DP*)
<i>Pourouma guianensis</i>	Imbaubarana	Cecropiaceae	10	16,63 ± 9,5
<i>Socratea exorrhiza</i>	Paxiúba	Arecaceae	8	8,2 ± 3,3
<i>Astrocaryum gynacanthum</i>	Mumbaca	Arecaceae	6	5,7 ± 0,29
<i>Siparuna guianensis</i>	Capitiú	Monimiaceae	5	6,0 ± 0,72
<i>Euterpe oleracea</i>	Açaí	Arecaceae	4	7,9 ± 3,2
<i>Tapirira guianensis</i>	Tatapiririca	Anacardiaceae	4	28,8 ± 22,5
<i>Cecropia distachya</i> Huber	Imbaúba Branca	Cecropiaceae	3	19,6 ± 13,6
<i>Apeiba burchelii</i> sprague	Pente de macaco	Tiliaceae	3	12,7 ± 8,9
<i>Protium pilosum</i>	Bréu	Burseraceae	2	6,6 ± 1,0
<i>Theobroma subincanum</i>	Cupuí	Sterculiaceae	2	10,8 ± 2,9
<i>Brosimum guianensis</i>	Inharé folha pequena	Moraceae	2	12,1 ± 0,44
<i>Nectandra cuspidata</i>	Louro preto	Lauraceae	2	5,9 ± 0,67
<i>Eschweilera coriacea</i>	Matá-matá branco	Lecythidaceae	2	13,1 ± 7,5
<i>Tachigalia myrmecophilla</i>	Tachi preto	Leguminosae-Caesalpinioideae	2	8,5 ± 2,0
<i>Mabea caudata</i>	Taquarí	Euphorbiaceae	2	6,4 ± 1,9
<i>Jacaratia spinosa</i>	Mamuí	Caricaceae	1	13,5
<i>Virola surinamensis</i>	Ucuúba de várzea	Myristicaceae	1	12,5
<i>Inga thibaudiana</i>	Ingá	Leguminosae-Mimosoideae	1	22,0
<i>Bagassa guianensis</i>	Tatajuba	Moraceae	1	17,6
<i>Lacmellea aculeata</i>	Catuaba	Apocynaceae	1	9,9
<i>Goupia glabra</i> Aublet	Cupiúba	Celastraceae	1	29,8
<i>Pouteria guianensis</i>	Abiu vermelho	Sapotaceae	1	9,2
<i>Eschweilera grandiflora</i>	Matá-matá preto	Lecythidaceae	1	18,3
<i>Clarisia elicifolia</i>	Janitá	Moraceae	1	6,1
<i>Swartzia arborecens</i>	Jutaiarana	Fabaceae	1	7,3
<i>Pourouma tomentosa</i>	Amapatirana	Cecropiaceae	1	36,6
<i>Licania canescens</i>	Casca seca	Chryocaraceae	1	20,1
<i>Rinorea racemosa</i>	Canela de jacami	Violaceae	1	6,5
<i>Gutteria poeppigiana</i>	Envira preta	Annonaceae	1	7,7
<i>Duguetia surinamensis</i>	Envira	Annonaceae	1	6,5
<i>Parkia gigantocarpa</i>	Fava barriguda	Leguminosae-Mimosoideae	1	49,0
<i>Hymenolobium excelsum</i>	Angelim pedra	Leguminosae-Papilionoidae	1	5,1
<i>Protium altisonii</i>	Bréu vermelho	Burseraceae	1	16,6
<i>Hevea guianensis</i>	Seringueira	Euphorbiaceae	1	70,7
<i>Symphonia globulifera</i>	Ananí	Guttiferae	1	15,7
<i>Ocotea costulata</i>	Louro amarelo	Lauraceae	1	7,4
<i>Jacaranda copaia</i>	Parapará	Bignoniaceae	1	7,4
<i>Casearia decandra</i>	Passarinheira	Flacourtiaceae	1	9,7
<i>Mezilaurus itauba</i>	Itaúba	Lauraceae	1	13,8

\* DP = Desvio padrão da média.

Fonte: Do autor.

## 5.2 MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Na segunda quinzena de dezembro de 2009, foi implantado um pluviômetro próximo à área de estudo, em local livre de qualquer obstáculo, a uma altura de 1,5 m do solo, o qual permaneceu até fevereiro de 2011. O pluviômetro foi construído com garrafa plástica inteira, tipo pet de 1,5 L, inserida em um tubo de PVC de 35 cm de comprimento e 14,5 cm de diâmetro (Figura 6A). Na sua base foi usada uma conexão plástica (cotovelo de 90°) e uma torneira de bebedouro. O volume de precipitação foi medido diariamente, às 7 h da manhã, com o auxílio de uma proveta de 100 mL. O pluviômetro apresentou uma área de captação de 330 cm<sup>2</sup>. Tal captação é considerada satisfatória quando comparada com o pluviômetro padrão do tipo “Ville de Paris” (Figura 6B), que possui uma área de captação de 400 cm<sup>2</sup> (GARCÉZ; MOTA, 2010). As especificações do pluviômetro estiveram de acordo com as do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A precipitação coletada foi representativa de uma área com raio 5 km ao redor do pluviômetro (Comunicação Pessoal), no qual estavam todas as parcelas experimentais. Os dados de precipitação foram comparados com os dados de precipitação da estação climatológica mais próxima do município de Mãe do Rio.

Figura 6 - Pluviômetro implantado próximo das áreas experimentais em Mãe do Rio (A) e o modelo “*Ville de Paris*” usado na estação meteorológica da Universidade Federal do Pará (B)



Fonte: Foto (A) do autor e foto (B) Garcês e Mota (2010).

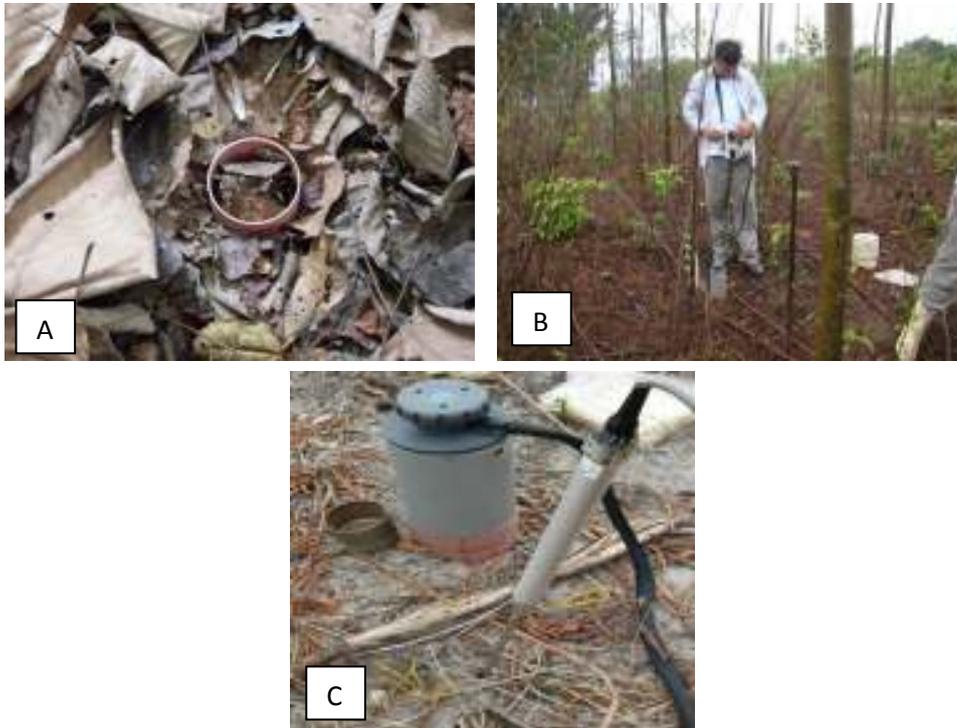
Os critérios para classificação dos períodos mensais em seco e chuvoso seguiram a seguinte sequência: período seco ( $\leq 100$  mm); período de transição seco-chuvoso ou chuvoso-seco ( $> 100$  mm e  $\leq$  que 150 mm, após o período seco) e período chuvoso ( $> 150$  mm).

### 5.3 EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) DO SOLO

As medidas da emissão de CO<sub>2</sub> do solo foram realizadas pelo método das câmaras estáticas, do tipo policloreto de vinil (*polyvinyl chloride* - PVC), a escolha do material para a construção dos anéis, base da câmara de respiração do solo, é devido a sua maior resistência as condições ambientes, menor custo e menor aumento da temperatura no interior da câmara, quando comparado com outros materiais (COSTA et al., 2006). Os anéis possuíam dimensões de 10 cm de altura x 10 cm de diâmetro interno, e foram inseridos cerca de 2 cm de profundidade no solo (Figura 7A). O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi medido acoplando-se, no anel que fora introduzido no solo, uma câmara (*Soil Respiration Chamber* - SRC 1) da PPSystems (Hitchin, UK) interligada a um analisador portátil de gás por infravermelho (*Environment Gas Monitor* - EGM 4) (Figura 7B).

A técnica de câmara estática consiste na medição da variação do gás no interior da câmara em um determinado local, em um determinado tempo (VERCHOT et al., 2000). As medições do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo (Figura 7c) ocorreram mensalmente entre os meses de novembro de 2009 a fevereiro de 2011, exceto em novembro de 2010 e janeiro de 2011, devido a problema com a bateria do aparelho. A concentração de CO<sub>2</sub> do solo é medida por até 120 segundos, originando um contínuo monitoramento do aumento da concentração deste gás. Desta maneira, é possível obter um bom ajuste de regressão entre as variáveis concentração e tempo, resultando em uma avaliação de fluxo bastante precisa e adequada para avaliações em curtos períodos de tempo (DAVIDSON et al., 2002).

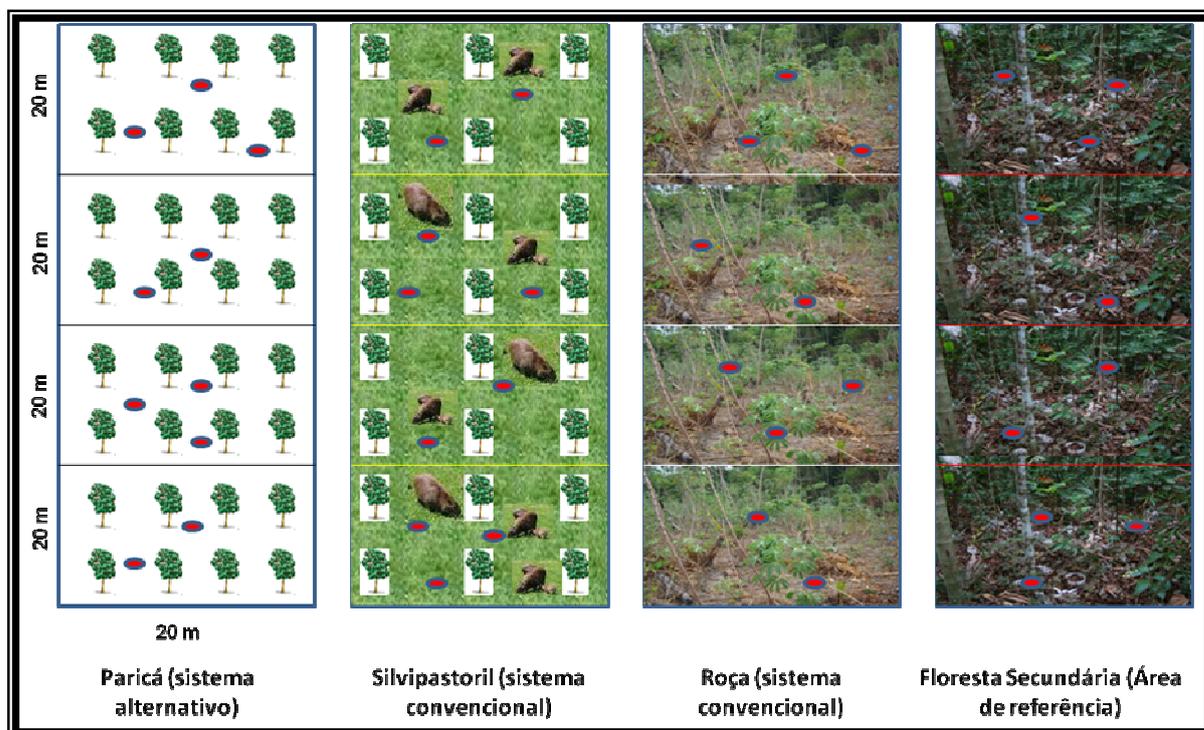
Figura 7 - Detalhes do anel: base da câmara de respiração do solo (A), da medição da emissão de CO<sub>2</sub> do solo pelo EGM-4 (B), e da medição direta da temperatura do solo (C).



Fonte: Do autor.

Em cada sistema e área de referência foram instalados 10 anéis de respiração do solo (Figura 8). Os anéis para medição dos efluxos de CO<sub>2</sub> foram distribuídos ao acaso e permaneceram fixos no solo durante o período experimental. Um dia antes de cada coleta, as áreas dos experimentos foram inspecionadas, a fim de se observar se ocorria a permanência dos anéis em seus respectivos lugares e para a retirada de todas as plantas vivas dentro dos mesmos. O efluxo de CO<sub>2</sub> foi calculado por meio de ajuste de uma equação quadrática com valores em g m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>, sendo convertidos para μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (DAVIDSON et al., 2000; VERCHOT et al., 2008).

Figura 8 - Croqui ilustrativo dos sistemas agropecuários e da floresta secundária, mostrando a disposição dos anéis de respiração do solo em cada um deles.



Fonte: Do autor

A medição da concentração de  $\text{CO}_2$  se baseia em técnicas de infravermelho, em que moléculas diatômicas como as de  $\text{CO}_2$  absorvem fortemente fótons de ondas longas, na faixa do infravermelho de 4,26 microns, quantificando o número de moléculas de  $\text{CO}_2$  (LUO; ZHOU, 2006). Neste sistema de câmara estática, o equipamento de medição do efluxo de  $\text{CO}_2$ , EGM 4, realiza o ajuste da pressão e temperatura do solo dentro da câmara (LUO; ZHOU, op. cit.), evitando a influência da pressão no aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  no interior da mesma (COSTA et al., 2006), e conseqüentemente, evitando valores superestimados da emissão deste gás.

A medida da respiração do solo terminava automaticamente quando a concentração de  $\text{CO}_2$  no sistema ultrapassava 60 ppm (parte por milhão) ou após 120 segundos do acoplamento entre as câmaras no solo (LUO; ZHOU, op. cit.). Além das medições mensais, também foi estimada a emissão anual de  $\text{CO}_2$  nos diferentes sistemas e área de referência, tomaram-se como base os valores (em  $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) medidos em todos os meses (DAVIDSON et al., 2000; METCALFE et al., 2007; VERCHOT et al., 2008). Para a estimativa anual de efluxo em  $\text{g CO}_2 \text{ ha}^{-1}$

ano<sup>-1</sup>, somaram-se todos os valores mensais de cada anel de respiração do solo, calculando-se a média mensal de todos os anéis para cada área de estudo. A emissão de CO<sub>2</sub> estimada em g CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, foram convertidas para μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### 5.3.1 Umidade do solo e medições complementares

A umidade do solo foi determinada mensalmente pelo método gravimétrico, no momento das medições da respiração do solo. Foi utilizado um trado para coleta do material (profundidade = 0-10 cm), próximo de cada anel de respiração do solo em cada parcela. As amostras de solo (total de 10 por tratamento), ainda em campo, foram armazenadas e identificadas em recipientes plásticos fechados. Em seguida as amostras foram enviadas ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, para a pesagem da massa úmida e seca do solo. No Laboratório a massa úmida foi pesada em balança de precisão. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 105°C, por 24 h, para a pesagem da massa seca.

Foram coletados dados mensais da umidade relativa do ar, com auxílio de psicrômetro no início e final de cada coleta de CO<sub>2</sub> nos diferentes sistemas. Os dados de temperatura do solo foram gerados por um sensor acoplado ao aparelho EGM-4 (analisador portátil de gás por infravermelho), o qual foi introduzido, aproximadamente 2 cm de profundidade no solo, próximo das câmaras de emissão de CO<sub>2</sub>, no momento da coleta de respiração do solo.

## 5.4 ESTOQUE DE CARBONO

O estoque de carbono foi avaliado na parte aérea acima do solo dos três sistemas de produção agrícola e na floresta secundária, na liteira e no solo de cada uma das áreas. Todos seguiram metodologias e uso de ferramentas diferenciadas, as quais estão descritas logo a seguir.

#### 5.4.1 Estoque de carbono na liteira

O estoque da liteira não-lenhosa (folhas, pecíolos, flores e frutos) e lenhosa (partes constituídas de lenho) foi avaliado a cada três meses, de janeiro de 2010 a outubro de 2010. Foi usada uma grade cortante com área interna de 0,5 x 0,5 m para a coleta de liteira (Figura 9). As coletas foram feitas aleatoriamente próximo dos anéis de medições da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, num total de 20 amostras por tratamento por coleta. Toda liteira contida na área delimitada pela grade foi coletada, armazenada em sacos de papel identificados e enviada para o laboratório de Ecofisiologia vegetal da Embrapa Amazônia Oriental.

Figura 9 - Coleta de liteira utilizando a grade cortante no sistema de roça



Fonte: Do autor.

No laboratório o material foi separado em liteira lenhosa (galhos com diâmetros > 1 cm) e não-lenhosa. Em seguida foram peneirados em malha de 2 mm para eliminar ao máximo os resíduos de solo que passam pela peneira, os quais poderiam influenciar na estimativa do estoque de carbono orgânico na liteira. Em seguida, as amostras foram secas em estufa, a 65°C, por 72 horas e pesadas em balança digital, para posteriormente serem moídas para análise da concentração de carbono nas amostras da liteira. Essas mesmas amostras foram moídas (moinho marca Marconi e Modelo MA 340) e pesadas em balança digital de precisão, para a obtenção do estoque de liteira em cada um dos sistemas estudados. A estimativa da concentração do carbono na liteira não lenhosa foi obtida a partir de, aproximadamente, 0,1 g do material moído e pesado em balança digital de precisão. Outra porção de, aproximadamente, 4 g do material moído foi utilizada para

proceder a correção da umidade das amostras analisadas pelo equipamento LECO (analisador elementar, modelo CNS-2000). Após a pesagem da massa úmida, a amostra para correção da umidade foi novamente submetida a um processo de secagem, em estufa a 65°C por 24h, para posterior obtenção do peso da massa seca.

A concentração de carbono foi analisada por combustão via seca pelo analisador LECO, apenas na liteira moída não lenhosa. A concentração e estoque de carbono na liteira lenhosa não foram analisados neste estudo, devido à reduzida quantidade dessa fração nas diferentes áreas de estudo e meses de coleta.

#### **5.4.2 Estoque de carbono no solo**

Em cada uma das áreas de estudo foi escavada uma trincheira medindo 0,5 largura x 1,2 comprimento x 1,2 m profundidade, por parcela (Figura 10A). No perfil das trincheiras, foram coletadas três amostras indeformadas de solo, as quais foram obtidas pela coleta de uma porção de solo utilizando-se anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) (Figura 10B) em cada profundidade, para a determinação da densidade do solo. As amostras foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, 70-100 cm. Em cada profundidade foram coletadas amostras deformadas para a análise da fertilidade do solo e da concentração de carbono total, sendo três amostras por profundidade. Em cada sistema a obtenção das amostras de solo, dentro de cada trincheira, foi realizada em zigue-zague, para se ter a maior representatividade do solo dentro de cada parcela.

Após o processo de secagem em estufa (105°C por 24 h), o peso úmido e seco das amostras de solo foi obtido, com o auxílio de balança de precisão, no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa Amazônia Oriental, para a determinação da densidade do solo.

Para o cálculo da densidade do solo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$D = AS / V$$

Onde: D = Densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ )

AS = Peso da amostra seca a 105°C (g)

V = Volume do solo contido no anel ( $97,869 \text{ cm}^3$ ).

Figura 10 - Detalhes da coleta de solo em trincheira (A); manipulação do anel volumétrico para coleta do solo e determinação do estoque de carbono e densidade (B); e analisador elementar (LECO, CNS 2000) (C).



Fonte: Do autor.

Para calcular o estoque de carbono no solo foi utilizada a média de densidade de cada profundidade por trincheira. No Laboratório as amostras deformadas foram submetidas à secagem ao ar (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA), destorroadas, moídas, peneiradas (malha de 2 mm) e armazenadas em recipientes plásticos, com capacidade para 50 mL.

Para cada trincheira, juntaram-se as três amostras deformadas por profundidade para formar uma amostra composta. Tal procedimento foi efetuado visando reduzir o número de amostras que seriam analisadas. Utilizando-se balança digital de precisão foram obtidas amostras compostas de terra fina seca ao ar (TFSA) de 0,2 g para a determinação do conteúdo de carbono orgânico no solo, com o auxílio do equipamento LECO (Figura 10C).

A umidade das amostras analisadas foi determinada, utilizando-se, aproximadamente 13 g de solo moído, para corrigir a concentração de carbono do solo.

O estoque de carbono no solo para cada profundidade foi calculado de acordo com a equação (Bayer et al., 2000):  $EC = CO \times Ds \times e / 10$

Onde: EC = Estoque de carbono em determinada profundidade ( $Mg\ ha^{-1}$ )

CO = Teor de carbono orgânico total na profundidade amostrada ( $g\ Kg^{-1}$ )

Ds = Densidade do solo da profundidade ( $kg\ dm^{-3}$ )

e = Espessura da camada considerada (cm)

Foi realizada a correção do estoque de carbono para massas equivalentes de solo de todos os sistemas estudados, com base na densidade de referência (média de densidade da floresta secundária). Essa correção foi necessária devido à diferença de densidade do solo entre os sistemas e área de referência.

## 5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos nos diferentes sistemas de cultivo, ao longo de um ano de avaliação, para as variáveis emissão de  $CO_2$  do solo, temperatura do solo, umidade do solo, estoque de liteira, estoque de carbono na liteira, estoque de carbono no solo e densidade do solo foram submetidas à análise de variância (ANOVA) (VASCONCELOS et al., 2004; DAVIDSON et al., 2008; SAMPAIO, 2008; FREITAS, 2010). Os requisitos de homogeneidade de variância e normalidade dos erros também foram verificados.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado sob arranjo fatorial (fator 1 = efeito dos meses do ano e fator 2 = efeito dos sistemas de cultivo). Consideraram-se diferentes unidades experimentais de acordo com a variável analisada: emissão de  $CO_2$  do solo ( $n=10$ ), umidade gravimétrica do solo ( $n=10$ ), temperatura do solo ( $n=10$ ), carbono no solo ( $n=7$ ), carbono na liteira não-lenhosa ( $n=10$ ) e estoque de liteira acima do solo ( $n=10$ ). Primeiramente, foi testada a homogeneidade das parcelas em cada uma das variáveis. A ANOVA testou os efeitos de sistemas de cultivos, meses do ano e a interação destes efeitos sobre as variáveis estudadas, empregando-se uma análise de medidas repetidas, conforme VASCONCELOS et al. (2004) e DAVIDSON et al. (2008). Quando a ANOVA apresentou efeito significativo, o teste de Tukey foi utilizado ao nível de 5%, para a

comparação de médias entre sistemas de cultivo e/ou meses do ano (DAVIDSON et al., 2008; SAMPAIO, 2008; FREITAS, 2010).

A fim de inferir sobre a associação das variáveis resposta, foi realizada análise de correlação entre a emissão de CO<sub>2</sub> do solo e as variáveis de umidade e temperatura do solo. A análise estatística dos dados foi realizada com os programas SISVAR 11 (FERREIRA, 2008) e Sigma Plot 11.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Em 2010, a precipitação total de 1600 mm (Tabela 3) foi menor do que a precipitação histórica do município de Mãe do Rio, PA, que é de 2500 mm por ano (VALENTE et al., 2011). A baixa precipitação também foi medida pela Estação Meteorológica mais próxima do município de Mãe do Rio, com precipitação total de 1698,2 mm no ano de 2010. Esse dado de precipitação total foi medido na estação meteorológica instalada na fazenda da Tramontina no Município de Aurora do Pará.

O baixo índice pluviométrico no ano de 2010 foi devido ao evento climático de El Niño, durante o qual houve precipitação abaixo do normal no Nordeste Paraense, sendo que o déficit hídrico no Nordeste Paraense foi relatado nos Boletins de Análise e Previsão Climática de 2009 a 2010 (PREVISÃO... 2009a, b).

Tabela 3 - Caracterização da precipitação durante o período experimental.

Mês/ano	Período	Precipitação mensal (mm)	Nº dias sem chuva
Dezembro /2009	seco	36	13
Janeiro /2010	seco-chuvoso	130,8	19
Fevereiro /2010	chuvoso	187,5	13
Março /2010	chuvoso	197,9	15
Abril /2010	chuvoso	370,3	9
Mai /2010	chuvoso	212,2	17
Junho /2010	chuvoso-seco	144,7	15
Julho /2010	seco	23,9	22
Agosto /2010	seco	75,3	21
Setembro/ 2010	seco	5,0	27
Outubro /2010	seco	57,0	23
Novembro /2010	seco	63,3	22
Dezembro /2010	seco-chuvoso	132,3	20
Janeiro /2011	chuvoso	317,4	12
Fevereiro /2011	chuvoso	376,07	8

Fonte: Do autor.

## 6.2 EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) DO SOLO

A emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi afetada pela interação entre os tratamentos (sistemas de produção agropecuários e área de referência) e meses dos anos avaliados ( $gl=_{38,493}$ ;  $F= 2,17$ ;  $P= 0,0001$ ). Similarmente, a emissão de CO<sub>2</sub> variou significativamente entre os diferentes sistemas de produção agropecuários ( $gl=_{3,493}$ ;  $F= 15,97$ ;  $P= 0,000$ ), assim como ao longo dos diferentes meses ( $gl=_{13,493}$ ;  $F= 10,51$ ;  $P= 0,000$ ).

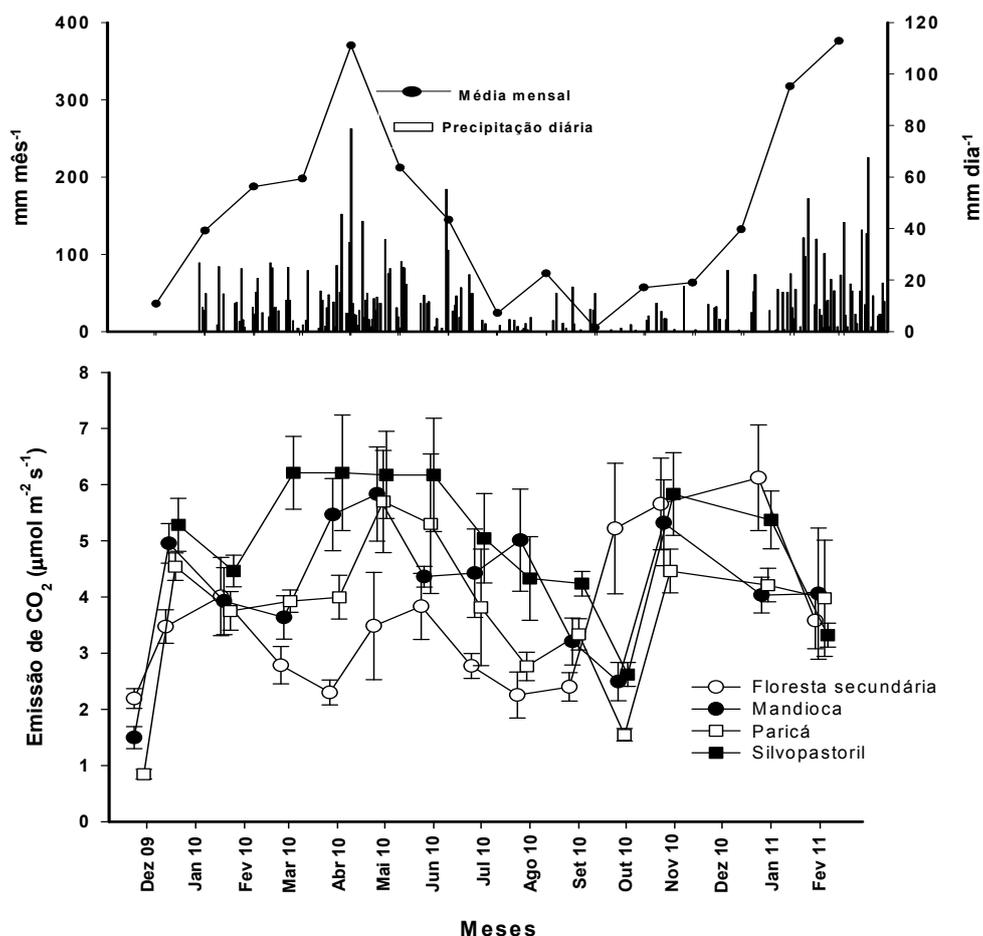
A maior emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi observada no sistema silvipastoril, com média geral  $\pm$  desvio padrão de  $5,02 \pm 1,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Já a menor emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi verificada na área da floresta secundária, com média geral de  $3,56 \pm 1,29 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Os sistemas de roça e paricá apresentaram valores intermediários, com média geral de  $4,16 \pm 1,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $3,73 \pm 1,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente.

Em praticamente todos os sistemas de produção avaliados, as maiores emissões de CO<sub>2</sub> do solo foram observadas nos meses de maior precipitação pluviométrica, como março/2010 (197,9 mm), abril/2010 (370,3 mm) e maio/2010 (212,2 mm) (Figura 11).

Constatou-se uma significativa variação sazonal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo entre o sistema silvipastoril e a floresta secundária, em praticamente todos os meses avaliados. No mês de abril/2010, por exemplo, a floresta secundária emitiu  $3,48 \pm 2,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , enquanto que o sistema silvipastoril emitiu  $6,17 \pm 2,33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . As maiores emissões CO<sub>2</sub> do solo, no sistema silvipastoril, ocorreram nos meses mais chuvosos do ano (Figura 11), com média de  $6,21 \pm 1,94$ ;  $6,21 \pm 3,09 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (fevereiro e março/2010) e  $6,17 \pm 2,33$ ;  $6,17 \pm 3,03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (abril e maio/2010), respectivamente. Nesse mesmo período os menores fluxos foram registrados na floresta secundária, com média de  $2,78 \pm 1,00$  e  $2,30 \pm 0,66$  (fevereiro e março/2010);  $3,48 \pm 2,86$  e  $3,83 \pm 1,77 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (abril e maio/2010), respectivamente. Os sistemas de paricá e roça apresentaram valores intermediários no período chuvoso, com média de  $3,93 \pm 0,59$  e  $4,00 \pm 1,17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (fevereiro e março/2010);  $5,70 \pm 2,73$  e  $5,30 \pm 3,73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (abril e maio/2010);  $3,64 \pm 1,16$  e  $5,47 \pm 1,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (fevereiro e março/2010) e  $5,83 \pm 2,52$  e  $4,36 \pm 0,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (abril e maio/2010),

respectivamente (Figura 11). A maior emissão de CO<sub>2</sub> no sistema silvipastoril, principalmente nos períodos mais chuvosos, provavelmente se devem à elevada respiração autotrófica. O sistema silvipastoril difere da floresta secundária em função deste último sistema geralmente apresentar respiração autotrófica bem menor, devido ao solo ser protegido pela camada de liteira, o que dificulta a proliferação de vegetais com sistema radicular do tipo fasciculado (SALIMON, 2003; SILVA-JUNIOR, 2008), corroborando a maior emissão causada pelo sistema silvipastoril, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano.

Figura 11 - Precipitação mensal e emissão de CO<sub>2</sub> em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.



Fonte: Do autor.

A mesma variação sazonal da precipitação na emissão de CO<sub>2</sub> do solo, em sistema com plantio de paricá, também foi observada por Freitas (2010), que obteve uma média global de  $7,07 \pm 1,50 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Poucos estudos foram encontrados sobre a emissão de CO<sub>2</sub> do solo em sistemas que utilizam o plantio de mandioca. A pesquisa de MERCANTE et al. (2008) em cultivo de mandioca em Argissolo Vermelho com textura arenosa, no Estado do Mato-Grosso do Sul, avaliou a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pela atividade respiratória dos microorganismos (respiração basal do solo), obtendo variação de 3,6 a 6,8 Mg C g<sup>-1</sup> nas amostras de solo.

Resultados similares da variação da emissão de CO<sub>2</sub> entre florestas e área de pastagem foram observados em outros estudos na Amazônia, dentre eles, Davidson et al. (2000), no leste do Pará; Fernandes et al. (2002), em Rondônia; Salimon (2003), no Acre (Amazônia Sul Ocidental) e Pinto Júnior et al. (2009), no Norte do Mato grosso (Floresta de transição Amazônica-cerrado e em área de pastagem). Salimon (2003) constatou que os fluxos de CO<sub>2</sub> dentro da área de pastagem foram 4,3 vezes maiores nos períodos chuvosos, do que nos períodos secos. Segundo o mesmo autor, no período seco a taxa fotossintética é reduzida devido à baixa produção de biomassa, provocando decréscimo na respiração radicular e microbiana no solo. Similarmente, FERNANDES et al. (2002) constataram que, no período chuvoso, a emissão de CO<sub>2</sub> foi o dobro da estação seca, sendo o maior pico de emissão encontrado na pastagem, quando comparado com a floresta.

Estudos conduzidos no Mato Grosso por Pinto Junior et al. (2009) revelaram que a média geral da emissão de CO<sub>2</sub>, ao longo de um ano de pesquisa, foi de  $5,48 \pm 0,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para área de floresta de transição Amazônica-cerrado, e de  $4,95 \pm 1,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para área de pastagem. Essa mesma pesquisa observou que a pastagem emitiu mais CO<sub>2</sub> do que a floresta nos períodos de maior precipitação. Em outras áreas de floresta secundária na Amazônia, VASCONCELOS et al. (2004) conduziram um experimento com o intuito de analisar a emissão de CO<sub>2</sub> em solos irrigados e não-irrigados. Segundo os autores a emissão média de CO<sub>2</sub> no período seco foi de  $6,18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , em solos irrigados e de  $2,33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , em solos não irrigados, mostrando a influência da umidade sobre a emissão de CO<sub>2</sub> do solo nos diferentes sistemas.

Pesquisas têm demonstrado que a emissão ou efluxo de CO<sub>2</sub> do solo está diretamente ligada à decomposição da matéria orgânica e mineralização do húmus, o que envolve diversos processos químicos, físicos e biológicos, como ação microbiana, reações metabólicas celulares e processos biogeoquímicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; LAL et al., 2003). A liberação do CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera depende da velocidade em que a matéria orgânica é decomposta, tendo esse processo forte relação com o teor de carboidratos, lignina, características físicas e químicas do solo, nutrientes disponíveis para as plantas, e principalmente, condições de umidade e temperatura do solo (DAVIDSON et al., 2000; ALMAGRO et al., 2009). Portanto, além da influência dos fatores climáticos, como umidade e temperatura do ar e do solo, a emissão diferenciada de CO<sub>2</sub> entre os diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária, também pode ter sido influenciada pela densidade do solo, estoque de liteira e estoque de carbono no solo (RYAN; LAW, 2005).

Carswell et al. (2002) utilizaram o método das covariâncias (torre de 51,5 m de altura) para medir o efluxo de CO<sub>2</sub> entre a floresta e a atmosfera (Troca líquida de do fluxo de CO<sub>2</sub> – NEE), na Floresta Nacional de Caxiuanã, localizada na Floresta Tropical da Amazônia Oriental. Nesse estudo foram observadas pequenas variações do efluxo de CO<sub>2</sub> entre os períodos secos e chuvosos. Porém, houve maior diferença quando o efluxo de CO<sub>2</sub> foi avaliado ao longo do dia, observando-se valores positivos no fluxo de CO<sub>2</sub> entre as 18h e 6h da manhã, e valores negativos no restante do dia, principalmente, no horário de intensa luminosidade (12h). Já o estudo de Gallon et al. (2006) comprovou que na Floresta Tropical de transição Amazônica, as trocas líquidas do fluxo de CO<sub>2</sub> durante a estação úmida foram superiores à estação seca, no ciclo diurno e noturno.

Além da influência da umidade, temperatura e das características física e química do solo, o horário de coleta de dados (iniciado 8h da manhã e finalizado geralmente por volta das 13h) nos quatro sistemas agropecuários estudados nesta pesquisa pode ter influenciado na estimativa pontual da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, principalmente na área da floresta secundária, onde foram encontrados os menores valores de emissão, tanto no período seco como no chuvoso.

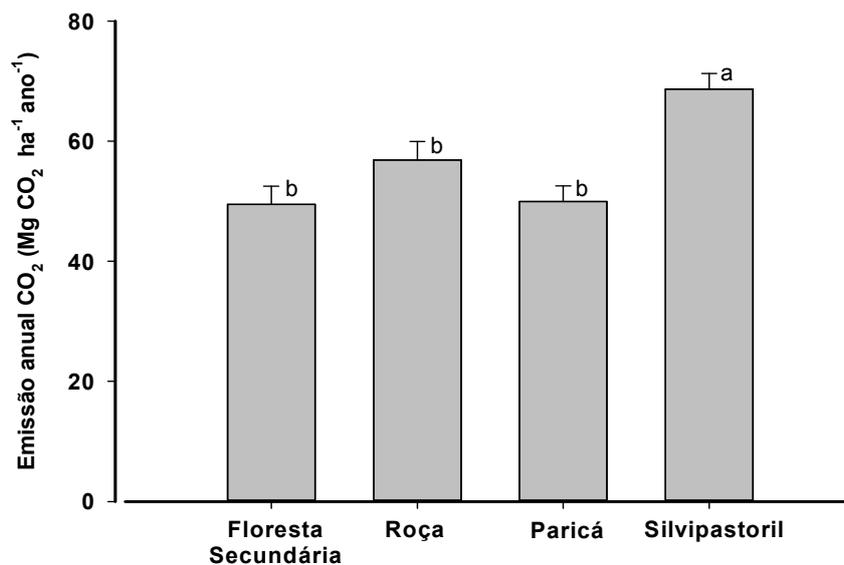
Os resultados da emissão de CO<sub>2</sub> do solo nos diferentes sistemas agropecuários foram bastante similares aos resultados obtidos por outros

pesquisadores na Amazônia brasileira (DAVIDSON et al., 2000; SAMPAIO, 2008; ALMAGRO et al., 2009; PINTO-JUNIOR, 2009).

### 6.2.1 Emissão anual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo

A emissão anual do CO<sub>2</sub> do solo, nos diferentes sistemas de produção e na floresta secundária, apresentou diferença significativa, apenas, no sistema silvipastoril ( $gl= 3,36$ ;  $F= 439,001$ ;  $P= 0,0001$ ), o qual emitiu média anual de  $68,65 \pm 7,90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Os sistemas paricá, roça e a área de referência (floresta secundária), apresentaram médias anual de  $49,94 \pm 7,87$ ;  $56,90 \pm 9,15$  e  $49,46 \pm 9,24 \text{ Mg ano ha}^{-1}$ , respectivamente. A diferença significativa da emissão de CO<sub>2</sub> anual do sistema silvipastoril com as demais áreas estudadas é compatível com os resultados mensais obtidos, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano (Figura 12).

Figura 12 - Emissão anual de CO<sub>2</sub> em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA (letras minúsculas (“a e b”) representam diferenças estatísticas pelo teste de Tukey entre os tratamentos).



Fonte: Do autor.

Estudo semelhante a este, também na Amazônia (Nordeste de Paragominas), foi realizado por Davidson et al. (2000), que observaram que em sistemas de pasto degradado, pasto ativo, floresta primária e floresta secundária, a emissão anual de CO<sub>2</sub> do solo, foi de 10; 15; 20 e 18 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Freitas (2010) obteve média anual da emissão de CO<sub>2</sub> em plantio com paricá na Amazônia Oriental, de 8,93 ± 1,87 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Em floresta secundária, também na Amazônia Oriental, Vasconcelos et al. (2004) relataram emissão anual de CO<sub>2</sub> de 4,34 ± 0,20 a 6,10 ± 0,43 Mg C ha ano<sup>-1</sup>.

### 6.2.2 Temperatura e umidade do solo

A temperatura do solo foi influenciada significativamente por tratamento, meses de coleta e interação entre tratamento (sistemas agropecuários e floresta secundária) e meses de coleta (Tabela 4).

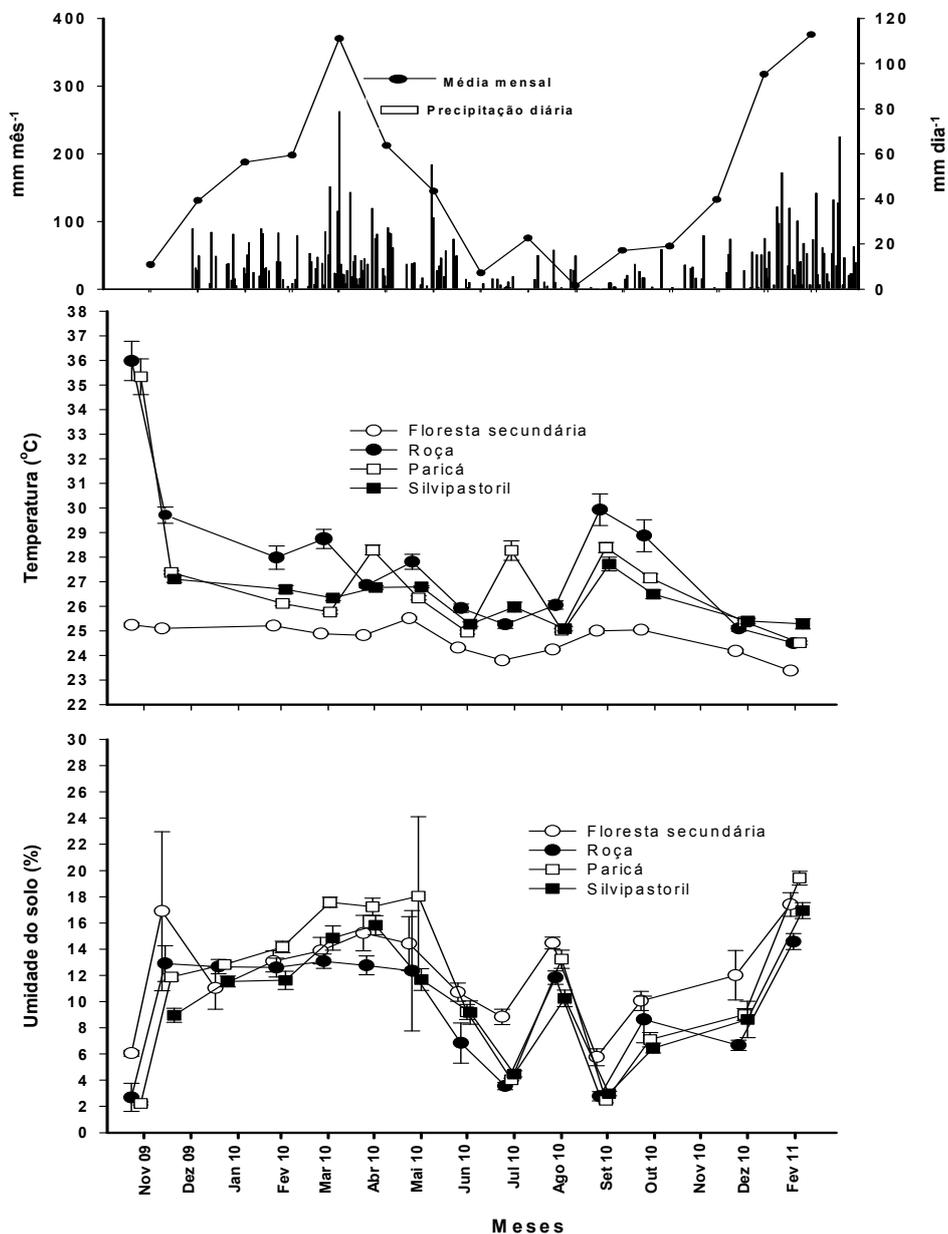
Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) para temperatura e umidade do solo.

<b>Temperatura do solo</b>					
Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	p
Tratamento	3	752,3715	250,7905	423,794	0,0000
Data de coleta	12	1507,7419	125,6451	212,319	0,0000
Trat. x data de coleta	35	648,1850	18,5195	31,295	0,0000
$\epsilon_1$	457	270,4412	0,5917		
<b>Umidade do solo</b>					
Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	p
Tratamento	3	535,8438	178,6146	8,293	0,0000
Data de coleta	13	9400,1192	723,0860	33,574	0,0000
Trat. x data de coleta	38	1162,0986	30,5815	1,420	0,0532
$\epsilon_2$	495	10660,7017	21,5367		

Fonte: Do autor.

A maior temperatura, com média geral de  $27 \pm 3,6^{\circ}\text{C}$ , foi observada no sistema de roça, enquanto a menor foi observada na floresta secundária, com média geral de  $24 \pm 0,63^{\circ}\text{C}$ . A menor variação da temperatura do solo entre as áreas de estudo foi observada na área da floresta secundária, com variação sazonal de 23 a  $25,0^{\circ}\text{C}$ ; o sistema de roça apresentou a maior variação, entre as áreas avaliadas, com 24,5 a  $35,9^{\circ}\text{C}$ . Os sistemas silvipastoril e paricá tiveram variação sazonal entre 25 e  $27^{\circ}\text{C}$ , e 24 e  $27^{\circ}\text{C}$ , respectivamente (Figura 13).

Figura 13 - a) Precipitação mensal, b) temperatura e c) umidade do solo em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no nordeste no município de Mãe do Rio, PA.



Fonte: Do autor.

Os meses que apresentaram os maiores picos de temperatura foram aqueles em que houve menor índice pluviométrico, em todos os sistemas avaliados e floresta secundária. Porém, de acordo com Souza et al. (2004) a precipitação é considerada um fator de menor influência para os picos de temperatura do solo, a qual é mais influenciada pelos pulsos diários de radiação solar incidente nos diferentes tipos de sistema. Na reserva florestal de Caxiuanã, sob área de pastagem, a variação sazonal da temperatura foi de 27 a 34°C, enquanto que em área florestal a amplitude sazonal da temperatura do solo foi de 24,5 a 25,2°C (SOUZA et al., 2004). A menor variação da temperatura do solo, encontrada pelos autores, confirma que áreas de florestas apresentam menor amplitude da temperatura do solo, quando comparadas com os demais sistemas estudados nesta pesquisa.

A umidade do solo não foi afetada significativamente pela interação entre os tratamentos e meses de coleta, mas houve efeito significativo dos fatores isolados (Tabela 4). A maior umidade do solo foi observada na floresta secundária, com média geral de  $12,13 \pm 3,62\%$ , enquanto que a menor umidade do solo ocorreu no sistema de roça ( $9,57 \pm 4,26\%$ ). A umidade do solo foi de  $10,26 \pm 4,2\%$  e  $11,32 \pm 5,8\%$  nos sistemas silvipastoril e paricá, respectivamente. Os meses de março/2010, abril/2010 e fevereiro/2011 apresentaram maior umidade no solo entre as diferentes áreas estudadas do que os demais meses (Figura 13), sendo que, a variação sazonal na umidade do solo foi, respectivamente, de 5,76 a 17,41% (setembro/2010 e fevereiro/2011) na floresta secundária; 2,23 a 19,42% (Novembro/2009 e fevereiro/2011) no sistema do paricá; 2,98 a 16,95% (setembro/2010 e fevereiro/2011) no sistema silvipastoril e 2,69 a 14,57% (Novembro/2009 e fevereiro/2011) no sistema de roça (Figura 13). O teor de umidade no solo, nos estudos de Oliveros (2008), foi também maior nos sistemas de plantio direto do que nos convencionais, com variação média mensal de 12,49 a 24,68%, com variação média mensal de 5,92 a 21,41% no período chuvoso. A diferença de umidade nas áreas de estudo ocorreu pela variação de cobertura vegetal, ou seja, a quantidade de material depositado no solo (liteira), proveniente das plantas dentro de cada sistema, o que aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo (GRACE, 2001; SOUZA et al., 2004), como é visto em áreas de florestas. Isto será discutido mais adiante, no tópico referente ao estoque de liteira. Outros fatores podem controlar o teor de umidade no solo, tais como, o tipo de solo, porosidade do solo,

mudanças no uso da terra e temperatura do ar (DAVIDSON et al., 2000; REICHARDT; TIMM, 2004).

A umidade do solo apresentou um comportamento inverso ao da temperatura do solo, pois teve relação direta com a precipitação local, ou seja, os meses mais chuvosos tiveram maior percentual de umidade no solo, nas diferentes áreas de estudo, do que os meses mais secos (Tabela 3 e Figura 13). A mesma relação entre precipitação e umidade do solo foi constatada por Souza et al. (2004); Costa (2005) e Gonçalves (2006).

### 6.2.3 Correlação da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo com a umidade e temperatura do solo

Houve correlação significativa apenas entre a umidade e temperatura do solo (Tabela 5). A menor emissão de CO<sub>2</sub> do solo estimada na área da floresta secundária ( $3,56 \pm 1,29 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi associada, no geral, com baixa temperatura do solo ( $24,67 \pm 0,63^\circ\text{C}$ ) e elevado teor de umidade no solo ( $12,13 \pm 3,62\%$ ). Por outro lado, a maior emissão de CO<sub>2</sub> ( $5,02 \pm 1,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), verificada no sistema silvipastoril se associou com alta temperatura ( $26,4 \pm 0,84^\circ\text{C}$ ) e baixo teor de umidade no solo ( $10,26 \pm 4,2\%$ ). Os sistemas de roça e paricá apresentaram valores intermediários entre as diferentes variáveis estudadas, ou seja, roça (emissão de CO<sub>2</sub> de  $4,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; percentual de umidade de  $9,57 \pm 4,16\%$  e temperatura do solo, de  $27,90 \pm 3,01^\circ\text{C}$ ) e sistema de paricá (emissão média de  $3,73 \pm 1,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a uma temperatura de  $27,16 \pm 2,8^\circ\text{C}$  e umidade de  $11,32 \pm 5,8\%$ ).

Tabela 5 - Matriz de correlação entre variáveis climáticas disponíveis e a respiração do solo. Onde: Triângulo inferior – correlação de Pearson; triângulo superior – significância da correlação

n=51	CO <sub>2</sub>	Temperatura	Umidade
CO <sub>2</sub>		p<0.10	p<0.90
Temperatura	-0.24		p<0.05
Umidade	0.03	-0.33	

Fonte: Do autor

Além do aumento na respiração do solo, possivelmente relacionada à respiração autotrófica (raízes) no sistema silvipastoril nos períodos chuvosos, a maior emissão deste sistema e menor emissão na área da floresta secundária, podem ter sido influenciadas, também, pela umidade do solo, pois a disponibilidade de água no solo é um dos principais fatores que controlam a mobilidade e saída do dióxido de carbono do solo para a atmosfera (RYAN; LAW, 2005; SAMPAIO, 2008). A umidade do solo pode interferir de duas maneiras no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera: a) disponibilidade de nutrientes que só são disponíveis às bactérias quando dissolvidos na água do solo e b) conteúdo de água no interior dos poros (SAMPAIO, 2008). Solos com baixo teor de umidade ou sob estresse hídrico apresentam os poros totalmente preenchidos por ar, dificultando a difusão de íons no solo, deixando os poros livres para a difusão de gases e facilitando a difusão deles para a atmosfera (MATSON; HARRIS, 1995; ABER; MELILLO, 2001). Tal processo afeta a degradação da matéria orgânica e, conseqüentemente, o efluxo de CO<sub>2</sub>, devido aos danos causados pelo déficit hídrico no metabolismo dos microorganismos do solo.

Os microorganismos respondem às condições ótimas de temperatura e umidade do solo para a decomposição dos compostos orgânicos (SAMPAIO, 2008). Por isso, estudos comprovam a forte ligação da umidade e temperatura com a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, por serem variáveis imprescindíveis para a decomposição dos compostos orgânicos e, conseqüentemente, a respiração do solo (DAVIDSON et al., 2000; SOTTA et al., 2004).

Os estudos de SOTTA et al. (2006), comparando o efluxo de CO<sub>2</sub> em diferentes tipos de solo na Floresta de Caxiuanã, mostraram que a emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi maior no solo com textura arenosa (3,93  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) do que naquele de textura argilosa (3,08  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Houve forte variação na correlação da emissão de CO<sub>2</sub> com a umidade do solo, enquanto que a correlação da temperatura, com a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, não foi significativa nos diferentes tipos de solo. Sotta et al. (2006) constataram apenas variação significativa na correlação da temperatura com a umidade nos diferentes tipos de solo, de forma semelhante aos resultados observados neste estudo.

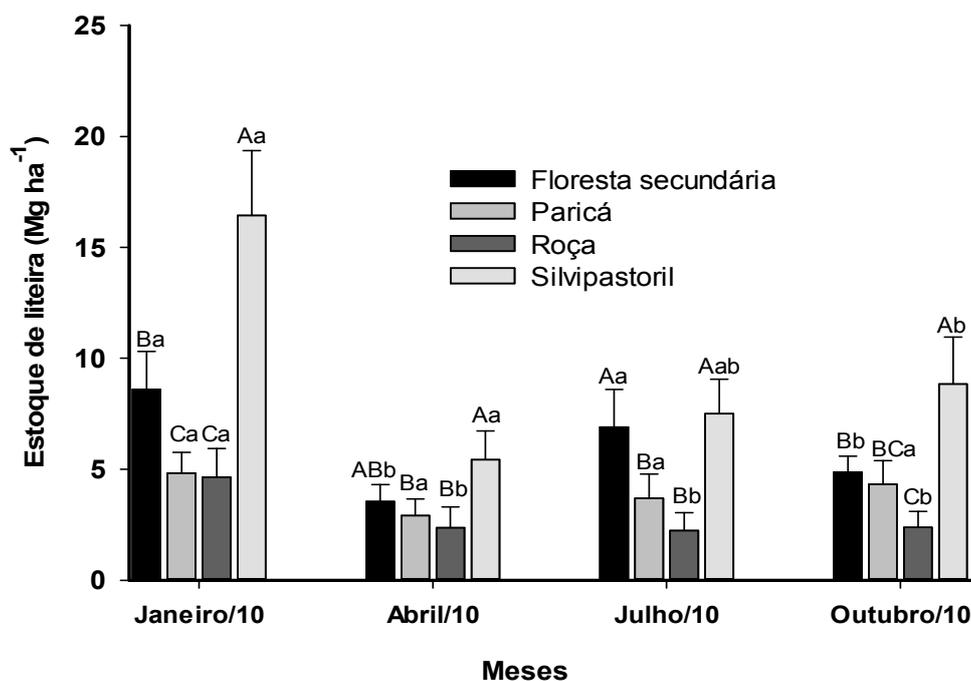
### 6.3 ESTOQUE DE LITEIRA NO SOLO

O estoque de liteira total (material lenhoso e não-lenhoso) foi afetado significativamente pela interação entre os sistemas estudados, floresta secundária e meses de coleta ( $gl=9,291$ ;  $F= 12,953$ ;  $P= 0.0000$ ). Houve, também, diferença significativa de forma isolada entre os sistemas de produção agropecuários e floresta secundária ( $gl=3,291$ ;  $F= 113,546$ ;  $P= 0,0000$ ) e entre os meses de coleta ( $gl=3,291$ ;  $F= 64,018$ ;  $P= 0,0000$ ).

O total de liteira estocada entre os meses foi de  $5,54 \pm 2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$  independente da áreas estudadas. E, independente dos meses avaliados, os maiores estoques de liteira total foram observados nos sistemas silvipastoril e floresta secundária, com médias gerais de  $9,61 \pm 4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $5,98 \pm 2,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. O menor estoque ( $2,90 \pm 1,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi observado no sistema de roça, seguido do sistema do paricá ( $3,96 \pm 0,82 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

A variação do estoque de liteira, entre os meses, no sistema silvipastoril foi de  $5,44 \text{ Mg ha}^{-1}$  (abril/2010) a  $16,44 \text{ Mg ha}^{-1}$  (janeiro/2010); na floresta secundária foi de  $3,54 \text{ Mg ha}^{-1}$  (abril/2010) a  $8,60 \text{ Mg ha}^{-1}$  (janeiro/2010); na roça foi de  $2,24 \text{ Mg ha}^{-1}$  (julho/2010) a  $4,64 \text{ Mg ha}^{-1}$  (janeiro/2010) e no sistema do paricá foi de  $2,91 \text{ Mg ha}^{-1}$  (abril/2010) a  $4,83 \text{ Mg ha}^{-1}$  (janeiro/2010). Independente dos sistemas agrícolas e floresta secundária, os maiores estoques de liteira nos diferentes meses de coleta foram: janeiro/2010 (8,63), julho/2010 (5,16) e outubro/2010 (4,82)  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Figura 14), exceto o sistema do paricá, que não apresentou diferença significativa entre os meses, e sim apenas entre os sistemas avaliados.

Figura 14 - Variação temporal do estoque de liteira total no solo, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (dentro do mesmo mês) e minúscula (dentro de um mesmo sistema de produção) não apresentam diferenças estatísticas entre si, de acordo com o teste de Tukey.



Fonte: Do autor

Para o estoque de liteira não-lenhosa, houve efeito significativo da interação entre os sistemas de estudo, floresta secundária e entre os diferentes meses de coleta. Bem como diferença significativa dos fatores isolados (sistemas, floresta secundária e meses de coleta) (Tabela 6). Porém, para a liteira lenhosa, a diferença significativa foi apenas entre os sistemas (Tabela 6).

O percentual do estoque de liteira foi sempre maior para a fração não-lenhosa, independente dos meses e do tipo de sistema agrícola e floresta secundária (Figura 15). A fração do estoque de liteira não-lenhosa foi similar em um mesmo sistema de cultivo ao longo dos diferentes meses estudados, exceção feita ao sistema de roça, que apresentou o maior percentual da fração não-lenhosa no mês de outubro/2010, com 90,06% (Figura 15). Com exceção do mês de outubro/2010, em que não houve variação entre sistemas da fração de estoque de liteira não-lenhosa, foi constatada uma variação entre os diferentes sistemas

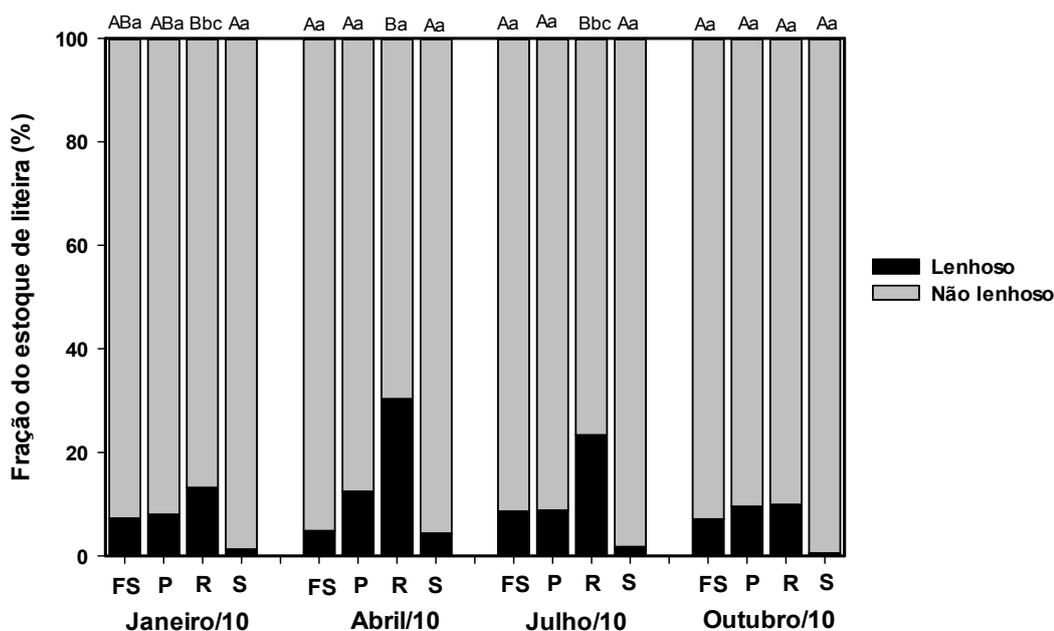
estudados dentro dos meses. O menor percentual de liteira não-lenhosa foi observado no sistema de roça, nos meses de janeiro/2010 (86,77%), abril/2010 (69,67%) e junho/2010 (76,67%), quando comparado com os demais sistemas. Os sistemas paricá, floresta secundária e silvipastoril apresentaram valores similares na fração estoque de liteira não-lenhosa (Figura 15).

Tabela 6 - Análise de variância (ANOVA) para a o estoque de liteira lenhosa e não-lenhosa no solo de diferentes sistemas agropecuários e floresta secundária no Município de Mãe do Rio

<b>Estoque de liteira não-lenhosa</b>					
Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	p
Tratamento	3	2214,9288	738,3096	161,239	0,0000
Data de coleta	3	1043,5916	347,8639	75,970	0,0000
Trat. x data de coleta	9	669,2905	74,3656	16,241	0,0000
$\varepsilon_1$	291	1332,4859	4,5789		
<b>Estoque de liteira lenhosa</b>					
Fontes de variação	GL	SQ	QM	Fc	p
Tratamento	3	8,5446	2,8482	4,369	0,0050
Data de coleta	3	2,9786	0,9928	1,523	0,2086
Trat. x data de coleta	9	6,5444	0,7271	1,115	0,3515
$\varepsilon_2$	291	189,7040	0,6519		

Fonte: Do autor

Figura 15 - Fração do estoque de liteira lenhosa e não-lenhosa nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2010, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA. Onde: FS= floresta secundária; P= paricá; R= roça; S= sistema silvipastoril. Letra maiúscula (diferença dentro do mesmo mês) e minúscula (dentro de um mesmo sistema de produção) não apresentam diferenças estatísticas entre si.



Fonte: Do autor.

A análise do estoque de liteira no solo nos diferentes sistemas agropecuários e floresta secundária, realizada neste estudo, é importante quando se deseja estudar fatores como estoque e emissão de CO<sub>2</sub> do solo, uma vez que, o estoque de liteira no solo fornece informações importantes da quantidade de carbono que está entrando no solo em diferentes áreas de uso da terra. A variação sazonal no estoque de liteira no solo está associada com a fenologia vegetal, com o tipo de manejo agrícola e com a variação da precipitação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; LARCHER, 2004). Outros aspectos importantes da quantificação do estoque de liteira no solo estão relacionados com a importância da liteira em proteger o solo contra a erosão, reduzir a oscilação da temperatura do solo, armazenar nutrientes no solo e manter a umidade do solo (BALIEIRO et al., 2004; SAMPAIO, 2008; SILVA, 2009).

Com relação ao efeito da sazonalidade sobre o estoque de liteira, nas diferentes áreas estudadas, foi observado que o estoque foi maior nos períodos de

transição seco-chuvoso (janeiro/2010) e seco (julho e outubro/2010) (Tabela 3), do que no período chuvoso (abril/2010). Isso confirma o efeito considerável da precipitação sobre o estoque de liteira, uma vez que o acúmulo de fitomassa no solo, pela queda da vegetação aérea dentro de um determinado sistema, é compatível com os períodos mais secos do ano. Outros trabalhos também encontraram, em outras áreas da região Amazônica, maiores estoques de liteira no solo no período mais seco do ano (VITAL et al., 2004; CARREIRA; RONDON; ZAIDAN, 2006; CAMPOS et al., 2008).

A quantidade e a velocidade de decomposição do material depositado variam de acordo com o tipo de vegetação e época do ano (GRACE, 2001). Segundo Wolf e Snyder (2003) a taxa de decomposição da liteira depende também do teor de lignina encontrado no material vegetativo depositado no solo. Como a mandioca apresenta elevado teor de lignina nos ramos, em média de 12,4% (MODESTO, 2002), isso provavelmente influenciou no maior estoque da liteira lenhosa no sistema de roça, devido à grande quantidade de ramos que permaneceram no solo após a realização da colheita, a qual ocorreu em março de 2010.

Os resultados obtidos neste estudo sobre o estoque de liteira no solo, em diferentes sistemas de uso da terra, foram semelhantes a outros realizados na região Amazônica. Por exemplo, Sampaio (2008), na região Nordeste do Pará, obteve diferenças significativas no estoque de liteira do solo entre diferentes sistemas de uso da terra e períodos de precipitação. Sistema alternativo, o estoque de liteira no solo foi de  $11,14 \pm 7,84 \text{ g m}^{-2}$  para material não-lenhoso e de  $35,40 \pm 15,54 \text{ g m}^{-2}$  para material lenhoso; sistema convencional, o total foi de  $25,68 \pm 8,10 \text{ g m}^{-2}$  para material não-lenhoso e de  $16,88 \pm 10,33 \text{ g m}^{-2}$  para material lenhoso e na floresta secundária, foi de  $29,77 \pm 12,91 \text{ g m}^{-2}$  para material não-lenhoso e de  $16,88 \pm 10,33 \text{ g m}^{-2}$  para material lenhoso. Entre os sistemas, o maior estoque de liteira sobre o solo foi observado na floresta secundária.

Estudos de Silva (2009), na Amazônia Oriental, também revelaram que o estoque da liteira foi maior para a fração não-lenhosa (90,4%), do que para a fração lenhosa (29,1%). No total da liteira lenhosa, 2,7% foram do sistema do paricá, 2,9% para o sistema consorciado com paricá e feijó e 23,5% para a floresta secundária. Diferentemente dos resultados obtidos nesta pesquisa, o estoque de liteira no solo foi maior no sistema de paricá, com média geral de  $7,7 \pm 1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . No sistema

consoziado a média total foi de  $7,4 \pm 0,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  e na floresta o estoque foi de  $5,9 \pm 1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

### 6.3.1 Estoque de carbono na liteira

Para o estoque de carbono na liteira não-lenhosa, em  $\text{Mg ha}^{-1}$ , observou-se efeito significativo da interação entre sistemas e meses ( $gl=9,144$ ;  $F= 9,017$ ;  $P= 0,0000$ ), sistemas ( $gl=3,144$ ;  $F= 67,281$ ;  $P= 0,0000$ ) e meses ( $gl=3,144$ ;  $F= 45,654$ ;  $P= 0,0000$ ).

O estoque de carbono na liteira não-lenhosa foi diretamente proporcional ao estoque de liteira no solo. Logo, as áreas que apresentaram maiores estoques de liteira no solo, como o sistema silvipastoril e floresta secundária, também foram aquelas que apresentaram maiores estoques de carbono na liteira, principalmente no período de menor precipitação. A média geral do estoque de liteira entre o sistema silvipastoril e floresta secundária foi de  $4,59 \pm 2,83 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $2,76 \pm 1,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 7).

O estoque de carbono da liteira não-lenhosa, em todas as áreas de estudo, foi significativamente maior em janeiro/2010, com média geral de  $4,31 \pm 3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 7).

Tabela 7 - Variação temporal do estoque de carbono da liteira não-lenhosa em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária, no município de Mãe do Rio, PA.

Estoque de carbono na liteira não-lenhosa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )					
Meses	Paricá	Silvipastoril	Roça	Floresta secundária	Total
Janeiro/2010	2,23C <sup>a</sup>	8,61A <sup>a</sup>	2,24C <sup>a</sup>	4,17B <sup>a</sup>	<b>4,31 ± 3,0a</b>
Abril/2010	1,05A <sup>ba</sup>	2,07A <sup>c</sup>	0,66B <sup>b</sup>	1,70AB <sup>b</sup>	<b>1,37 ± 0,63c</b>
Julho/2010	1,71BC <sup>a</sup>	3,37A <sup>bc</sup>	0,72C <sup>b</sup>	2,93AB <sup>ab</sup>	<b>2,18 ± 1,2b</b>
Outubro/2010	1,69B <sup>a</sup>	4,31A <sup>b</sup>	1,05B <sup>ab</sup>	2,24B <sup>b</sup>	<b>2,32 ± 1,4b</b>
<b>Total</b>	<b>1,67 ± 0,48C</b>	<b>4,59 ± 2,83A</b>	<b>1,17 ± 0,73C</b>	<b>2,76 ± 1,06B</b>	

\* Letras maiúsculas (diferença entre sistemas) e minúscula (diferença entre meses); valores em negrito representam a média global da densidade do solo, nos sistemas e meses, com os respectivos desvio padrão (Tukey < 0,05).

Fonte: Do autor.

O conhecimento dos processos de saída e entrada de nutrientes causados pelo acúmulo da liteira torna-se de fundamental importância na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica, bem como na manutenção do estoque de carbono no solo, que constitui cerca de duas a três vezes a quantidade de carbono presente na atmosfera (GRACE, 2001). Por isso, é fundamental a quantificação do estoque de liteira e de carbono na liteira em diferentes sistemas de uso da terra, quando se deseja estudar de maneira mais aprofundada o ciclo do carbono no ecossistema terrestre, como a emissão de CO<sub>2</sub> e estoque de carbono no solo, objetivos principais deste estudo.

Como a liteira pode ser influenciada pelos gradientes de umidade e temperatura do solo, a variação sazonal da precipitação apresenta um importante papel para a decomposição da liteira no solo. Observou-se que o menor estoque de liteira total foi encontrado no período de maior precipitação (abril/2010) entre os sistemas e floresta secundária, e, conseqüentemente, menor estoque de carbono da liteira não-lenhosa (1,37 Mg ha<sup>-1</sup>). Possivelmente, esse resultado foi devido ao menor aporte de material da parte aérea para o solo, no período chuvoso (SAMPAIO, 2008; SILVA, 2009).

Resultados semelhantes sobre a influência da precipitação no estoque da liteira e estoque de carbono na liteira foram encontrados por Dias (2006), que observou na Floresta Nacional de Caxiuanã e de Manaus um maior estoque de liteira no período com menor índice pluviométrico. No mesmo estudo, foi observado que o percentual de carbono orgânico na liteira não-lenhosa foi semelhante ao obtido neste estudo, 47,8 e 44,6% (estação seca e chuvosa, respectivamente), para a Floresta de Caxiuanã, e 48,8 e 45,6% (estação seca e chuvosa, respectivamente), para Manaus.

#### 6.4 ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

Não houve efeito significativo da interação entre sistemas e profundidades do solo na densidade do solo ( $gl= 18,84$ ;  $F= 1,12$ ;  $P= 0,3415$ ) e na concentração do carbono orgânico do solo ( $gl= 18,84$ ;  $F= 0,88$ ;  $P= 0,6013$ ).

A densidade do solo foi estatisticamente diferente entre áreas de estudo ( $gl= 3,84$ ;  $F= 44,67$ ;  $P= 0,0000$ ) e profundidades do solo ( $gl= 6,84$ ;  $F= 22,74$ ;  $P= 0,0000$ ). Da mesma forma, o carbono orgânico do solo variou significativamente entre as áreas de estudo ( $gl= 3,84$ ;  $F= 16,56$ ;  $P= 0,0000$ ) e diferentes profundidades do solo ( $gl= 6,84$ ;  $F= 23,52$ ;  $P= 0,0000$ ).

A maior densidade foi encontrada no sistema do paricá, com média geral de  $1,51 \pm 0,06 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto que a menor densidade foi observada na floresta secundária, com  $1,32 \pm 0,10 \text{ Mg m}^{-3}$ . Os sistemas silvipastoril e roça apresentaram densidades de  $1,46 \pm 0,01$  e  $1,39 \pm 0,06 \text{ Mg m}^{-3}$ , respectivamente. Em todos os sistemas avaliados, foi observado que a densidade apresentou relação direta com a profundidade. No geral, o aumento na densidade foi observado nas profundidades a partir de 10 a 50 cm ao longo do perfil do solo, com variação média de  $1,46 \pm 0,04$  a  $1,50 \pm 0,08 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 16).

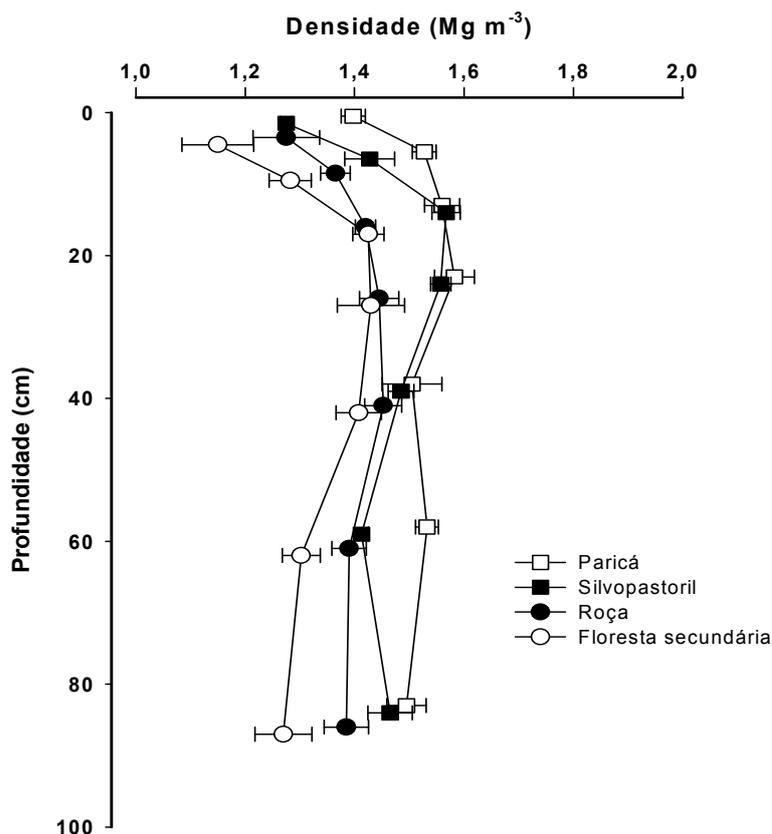
De forma geral, a maior densidade foi observada na profundidade de 20-30 cm no solo, nas áreas estudadas, exceto no sistema silvipastoril, que apresentou maior densidade na profundidade 10-20 cm. Na profundidade de 20-30 cm a densidade nas áreas estudadas foi  $1,43 \text{ Mg m}^{-3}$  na floresta secundária,  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  na roça,  $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$  no sistema silvipastoril e  $1,58 \text{ Mg m}^{-3}$  no paricá (Figura 16).

A variação nos valores de densidade nos diferentes sistemas e profundidades do solo obtidos nesta pesquisa deve-se, possivelmente, ao fato da densidade ser influenciada pela cobertura vegetal, tipo de uso da terra e/ou profundidade do solo (COELHO FILHO; COELHO; GONÇALVES, 2001). Por isso, dentre as variáveis que interferem no manejo agrícola e crescimento vegetal, a densidade é considerada uma das mais importantes.

Os sistemas paricá (alternativo) e silvipastoril (convencional) apresentaram maior densidade no solo do que o sistema de roça e a floresta secundária. Esta diferença na densidade do solo pode ter sido influenciada pela textura e compactação do solo de cada um dos sistemas, pois, de acordo com a análise granulométrica do solo (Tabela 1), o sistema do paricá apresentou maior percentual de argila no solo do que as demais áreas estudadas, e no sistema silvipastoril, a elevada densidade pode ter sido causada pela compactação do solo devido ao pisoteio do gado. A compactação é o resultado do processo de aumento da densidade do solo, ocorrendo principalmente, em ambientes em que se utilizam máquinas ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso (CAMARGO; ALLEONI,

1997; AMADO et al., 2005). A textura é um dos fatores físicos que também influencia no aumento da densidade do solo e, conseqüentemente, reduz o volume de poros (LETEY, 1985).

Figura 16 - Densidade do solo, ao longo de diferentes profundidades, em sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.



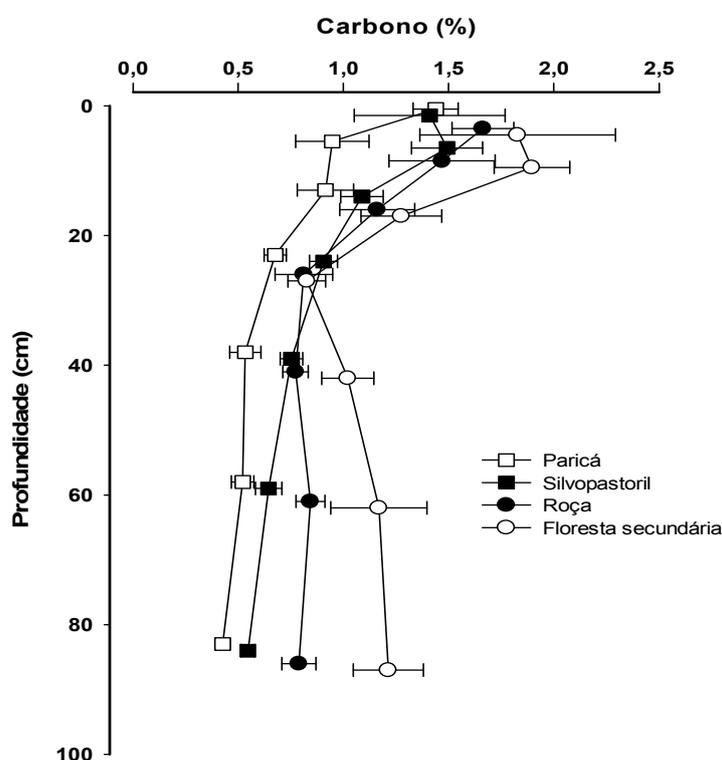
Fonte: Do autor.

No Nordeste do Pará, Pereira et al. (2011) também não observaram efeito significativo da interação entre sistemas estudados e profundidade na densidade do solo; a densidade do solo diferiu significativamente apenas entre os sistemas e profundidades isoladamente. Neste estudo a densidade variou entre os sistemas que utilizaram queima (convencional) e trituração (alternativo) e nas seguintes profundidades: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-50 cm. A maior densidade ( $1,56 \text{ g cm}^3$ ) foi observada na profundidade de 20-30 cm no solo. Sampaio (2008) também não observou diferença significativa na interação entre sistemas (trituração, convencional e floresta secundária) e profundidade do solo, obtendo maiores valores da

densidade nas últimas profundidades do solo (20-30 cm), dentre eles:  $1,56 \pm 0,06$  no sistema com trituração;  $1,55 \pm 0,09$  no sistema com queima e  $1,56 \pm 0,11 \text{ Mg m}^{-3}$  na floresta secundária.

A floresta secundária apresentou a maior concentração de carbono no solo, com média geral de  $1,32 \pm 0,40\%$ . A menor média da concentração de carbono no solo foi encontrada no sistema do paricá, com  $0,78 \pm 0,35\%$ . Resultados similares foram obtidos por Nepstad et al. (1994), que ressaltaram que o carbono total estocado do ecossistema (inclusive a biomassa) é muito maior em floresta que em pastagem, qualquer que seja o sistema de manejo. Os sistemas silvipastoril e roça apresentaram média geral da concentração de carbono orgânico de  $0,98 \pm 0,37\%$  e  $1,07 \pm 0,37\%$ , respectivamente. A concentração de carbono orgânico do solo, em todos os sistemas, foi maior nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm. Seguindo a ordem dessas profundidades, as médias gerais entre os sistemas foram, 1,58; 1,45 e 1,11%. Já o teor mínimo de carbono foi 0,43%, observado no sistema do paricá a uma profundidade de 70-100 cm (Figura 17).

Figura 17 - Concentração de carbono do solo, ao longo de diferentes profundidades, em diferentes sistemas de produção agropecuários e floresta secundária no município de Mãe do Rio, PA.



Fonte: Do autor

A densidade está diretamente ligada à quantidade de poros existente no solo, ou seja, quanto maior a quantidade de poros inter e intra-agregados do solo, menor será a densidade dele. E quanto maior a profundidade no perfil do solo, maior a densidade, e conseqüentemente menor a concentração de carbono orgânico no solo, que é decorrente do baixo teor de matéria orgânica, baixa quantidade de raízes e compactação causada pelas camadas superiores (SOUSA NETO et al., 2008). A mesma observação, com relação à densidade, foi feita nos estudo de Sampaio (2008), no nordeste Paraense. Porém, diferentemente dos resultados obtidos neste estudo, a concentração de carbono no solo, no estudo de Sampaio (2008), foi maior em sistema de trituração, nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, do que na floresta secundária com 22 anos de idade, onde a variação da concentração de carbono orgânico no solo foi de 0,84 a 2,29% para sistema de trituração; 0,86 a 1,59% para floresta secundária e de 0,80 a 1,42% para sistema de queima. Bernoux et al. (1999), no sudeste do Pará, relataram concentração de carbono no solo de cerca de 0,97% em área de pastagem (4 anos) e 1,08% para área florestal, em uma profundidade de 20-30 cm no solo.

O estoque de carbono no solo variou significativamente entre as áreas de estudo, nas profundidades de 5-10 cm ( $gl=_{3,12}$ ;  $F= 6,687$ ;  $P= 0,0066$ ), 30-50 cm ( $gl=_{3,12}$ ;  $F= 8,837$ ;  $P= 0,0023$ ), 50-70 cm ( $gl=_{3,12}$ ;  $F= 7,688$ ;  $P= 0,0039$ ), 70-100 cm ( $gl=_{3,12}$ ;  $F= 22,834$ ;  $P= 0,0000$ ) e 0-100 cm ( $gl=_{3,12}$ ;  $F= 12,776$ ;  $P= 0,0010$ ). O maior estoque de carbono no solo foi observado na floresta secundária, com total de 157  $Mg\ ha^{-1}$ , e o menor na roça, com total 120  $Mg\ ha^{-1}$ . O estoque total de carbono no solo para os sistemas silvipastoril e paricá foi de 105 e 82  $Mg\ ha^{-1}$ , respectivamente (Tabela 8). Entre os sistemas agropecuários e floresta secundária, os maiores estoques de carbono no solo foram observados nas últimas profundidades, com médias gerais de  $21,64 \pm 5,91\ Mg\ ha^{-1}$  (30-50 cm),  $20,62 \pm 7,94\ Mg\ ha^{-1}$  (50-70 cm) e  $28,20 \pm 12,63\ Mg\ ha^{-1}$  (70-100 cm) (Tabela 8). Piccinin et al. (2007), no nordeste paraense, encontraram concentração de carbono no solo de 7,89  $g\ kg^{-1}$ , em plantio com paricá, e 9,25  $g\ kg^{-1}$  em floresta secundária com 3 anos de idade, na profundidade de 20 cm.

Tabela 8 - Estoque de carbono no solo em diferentes profundidades, nos sistemas de produção agropecuários e floresta secundária, no município de Mãe do Rio, PA.

Prof. (cm)	Paricá	Silvipastoril	Roça	Floresta secundária	Total ( Mg ha <sup>-1</sup> )
0-5	8,32 ± 1,74A	8,25 ± 3,85A	9,51 ± 1,32A	10,26 ± 3,98A	<b>9,08 ± 2,80</b>
5-10	6,04 ± 1,88B	9,51 ± 1,47AB	9,37 ± 2,69AB	12,08 ± 1,33A	<b>9,25 ± 2,80</b>
10-20	13,11 ± 3,68A	15,54 ± 2,82A	16,46 ± 4,12A	18,21 ± 4,98A	<b>15,83 ± 4,03</b>
20-30	9,72 ± 1,89A	12,92 ± 1,66A	11,44 ± 2,55A	11,79 ± 2,19A	<b>11,47 ± 2,22</b>
30-50	15,11 ± 4,16B	21,17 ± 2,48AB	21,73 ± 2,85AB	28,53 ± 4,78A	<b>21,64 ± 5,91</b>
50-70	13,65 ± 3,07B	16,82 ± 3,34B	21,87 ± 2,23AB	30,14 ± 9,07A	<b>20,62 ± 7,94</b>
70-100	16,25 ± 1,93C	20,90 ± 3,47BC	29,84 ± 4,31B	45,81 ± 9,19A	<b>28,20 ± 12,63</b>
<b>Total (0-100 cm)</b> <b>( Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>82 ± 15,70c</b>	<b>105 ± 10,26bc</b>	<b>120 ± 10,58ab</b>	<b>157 ± 31,10a</b>	

\* Letras maiúsculas (diferença entre sistemas); valores em negrito representam o total do estoque de carbono no solo entre as profundidades e de 0-100 cm, nas áreas estudadas, com os respectivos desvios padrão (Tukey < 0,05).

Fonte: Do autor.

A área de referência (floresta secundária) apresentou maior estoque de carbono no solo, quando comparada com os demais sistemas estudados, e foi responsável pela menor emissão de CO<sub>2</sub> do solo. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que as florestas secundárias apresentam o ciclo do carbono mais equilibrado do que os outros sistemas avaliados, corroborando a hipótese de muitos trabalhos e autores em preservar ao máximo as áreas florestais, que contribuem significativamente para mitigar os problemas de mudanças climáticas mundiais (SÁ; VISWANADHAM; MANZI, 1988; VISWANADHAM et al., 1990; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007; NOBRE, 2008).

Nesta pesquisa o sistema alternativo, que tem o paricá como cultivo principal, apresentou a segunda menor emissão de CO<sub>2</sub> do solo. O paricá possui grande parte da sua biomassa concentrada no caule, e não nas folhagens e ramos (RONDON, 2002). Logo, é esperado que o aporte de liteira em plantios de paricá seja baixo quando comparado com florestas secundárias, diminuindo a disponibilidade de matéria orgânica para o estoque de carbono nesse ambiente. Mas isto não deve ser considerado como um fator preocupante, uma vez que a cultura do

paricá apresenta características positivas para o reflorestamento de áreas degradadas e/ou alteradas, sistemas agroflorestais, plantios comerciais homogêneos ou consorciados, devido principalmente ao seu rápido crescimento (SOUSA et al., 2005).

Independente da profundidade, o sistema silvipastoril mostrou ser bastante eficaz em armazenar carbono no solo, com média geral de  $15,02 \pm 5,43 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 8). Tal sistema é considerado, por alguns autores, excelente sequestrador de carbono da atmosfera (AMÉZQUITA et al., 2008; MANNETJE et al., 2008; MAIA et al., 2009). No entanto, o sequestro de carbono pode ser menor em pastagens formadas em diferentes ecossistemas da América Latina tropical, devido ao grande índice de áreas de pastagens em processo de degradação (PEREIRA; REZENDE; RUIZ, 2005; DIAS-FILHO; ANDRADE, 2006). Na Amazônia Legal há 30 milhões de hectares de pastagens degradadas (DIAS-FILHO, 2006).

O estoque de carbono no solo também foi analisado por D'ANDREA et al. (2004), no Sul do Estado de Goiás, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, em cerrado nativo (área de referência), pastagem com plantio de *Brachiaria decubens*, plantio direto e sistemas convencionais. Segundo os autores, não houve diferença significativa do estoque de carbono orgânico do solo entre os sistemas, ficando clara a diferença apenas entre as profundidades de todos os sistemas. O estoque de carbono no solo foi maior nas profundidades de 0-20 cm, com média de  $37,98 \text{ Mg ha}^{-1}$  em cerrado nativo,  $40,67 \text{ Mg ha}^{-1}$  em pastagem,  $35,86 \text{ Mg ha}^{-1}$  em sistema convencional e  $40,30 \text{ Mg ha}^{-1}$  em plantio direto. Os resultados observados na pastagem foram semelhantes aos observados no sistema silvipastoril desta pesquisa.

Foi visível que a quantidade de liteira estocada no solo nos diferentes sistemas e na floresta secundária ao longo do ano de 2010 influenciou no estoque de carbono do solo. No entanto, a pastagem acaba emitindo mais  $\text{CO}_2$  para atmosfera do que a floresta secundária, dependendo da época do ano, como o que foi observado neste estudo.

## 7 CONCLUSÕES

Tendo em vista os aspectos observados nos experimentos realizados no Município de Mãe do Rio, Pará, conclui-se que a emissão de CO<sub>2</sub> do solo, estoque de carbono e de liteira no solo e estoque de liteira no solo, apresentaram variações com relação às condições climáticas, como umidade e temperatura, e variações nos diferentes meses avaliados ao longo do ano experimental. Sendo assim:

- 1) A emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi sensível à variação de umidade no solo e tipo de sistemas de uso da terra.
- 2) A variação na sazonalidade da precipitação influenciou na emissão de CO<sub>2</sub> do solo nos diferentes tipos de sistemas estudados.
- 3) O estoque de liteira no solo foi sensível à variação intranual da precipitação pluviométrica.
- 4) O estoque de carbono na liteira do solo foi maior nas áreas de floresta secundária e sistema silvipastoril.
- 5) Os dados obtidos nesta pesquisa sobre os estoques e emissões de carbono nos diferentes sistemas agropecuários avaliados no Nordeste Paraense, mostram que a manutenção da floresta secundária é de extrema importância para o restabelecimento do ciclo do carbono.
- 6) Os sistemas de uso da terra que não utilizam o fogo no preparo da área, como os sistemas alternativos de corte-e-trituração (paricá), além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, ajudam na manutenção do funcionamento adequado do ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres.

## REFERÊNCIAS

- ADUAN, R. E.; VILELA, M. de F.; REIS JÚNIOR, F. B. dos. **Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta**. Planaltina. DF: Embrapa cerrados, 2004. 25p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 119).
- ABER, J. D.; MELILLO, J. M. **Terrestrial ecosystems**. 2<sup>a</sup> ed. San Diego. Tokio. Academic Press, 2001. 556p.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 99, p. 15-27. 2003.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Carbon emissions associated with forest fires in Brazil. In: MOUTINHO, P.; SCHWARTZMANN, S. **Tropical Deforestation and Climate Change**. Belem: IPAM, 2005. p. 23-33.
- ALMAGRO, M. et al. Temperature dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, n.3, p. 594-605. 2009.
- ALVES, B.J. R. et al. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. 216p.
- AMADO, T. J. C. et al. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 12, n. 89, p. 34-42. 2005.
- AMATA Brasil. **Inteligência da floresta viva. Revisão sobre Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**, 2009. Disponível em <http://www.amatabrasil.com.br/pt/>. Acesso em: 14 de fev. 2011.
- AMÉZQUITA, M. C. et al. Carbon sequestration in pasture and silvo-pastoral systems under conservatiion management in four ecosystems of tropical América. In: Conservation agriculture carbon offset consultation. West Lafayette. FAO, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/fQ0L7n>>. Acesso em: 18 de mai. 2011.
- ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. 1997. 178 f. Tese (doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 1997.
- ANDRADE, H. J.; IBRAHIM, M. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? **Agroforestería en las Américas**, v.10, p.109-116. 2003.
- ANDREAE, M.O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 955-966. 2001.
- ARAÚJO, E. A. de. **Qualidade do solo em ecossistemas de mata nativa e pastagens na região leste do Acre, Amazônia Ocidental**. 253f. 2008. Tese (doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém: Instituto do Homem e meio Ambiente da Amazônia, 2005. 76p.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. 2<sup>a</sup> ed. San Diego: Academic Press, 2001. 307p.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bokman, 2002. 622p.

BALIEIRO, F. de C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 59-65. 2004.

BARDGETT, R. D. **The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach**. Oxford University Press, Oxford, UK, 2005. 256p.

BARKER, T. et al. Mitigation from a cross-sectoral perspective: In: METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. (Eds). **Climate Change**. Cambridge: University Press, 2007. p. 26-93. (**Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**). Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch11s11-es.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch11s11-es.html), retrieved 2010-04-05. Acesso em 8 de ago. 2010.

BEEDLOW, P. A. et al. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and carbon sequestration in forest. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, p. 315-322. 2004.

BERNOUX, M. et al. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Agricultural Science**, v. 56, n. 4, p. 777-783. 1999.

BETTS, A.K. The diurnal cycle over land, in forest at the land-atmosphere interface. In: MENCUCCINI, M.; GRACE, J.; MONCRIEFF, J.; MCNAUGHTON, K. G. **Forests at the Land-Atmosphere Interface**. Wallingford, UK, p.73-93. 2004.

BOLFE, A. P. F.; SIQUEIRA, E. R. de; BOLFE, E. L. Sistemas Agroflorestais Sucessionais na Agricultura Familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2007. p. 1735-1738.

BRANCHER, T. **Estoque e ciclagem de carbono de sistemas agroflorestais em Tomé-Açú, Amazônia Oriental**. 2010. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – UFPA/MPEG/EMBRAPA/PPGCA, Belém, 2010.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Grupo permanente de trabalho interministerial para a redação dos índices de desmatamento da Amazônia Legal. **Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal**. Brasília, 2004. 156p.

BRASIL E. C.; CRAVO, M. da S. Interpretação dos resultados de análise de solo. In: CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de J. M; BRASIL E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**, Belém: Embrapa, 2007. p. 43-48.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspar, 1997. 132p.

CAMPOS, H. E. et al. Acúmulo de serapilheira em fragmentos de mata mesofítica e cerrado stricto sensu em Uberlândia, MG. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.20, n.1, p.189-203. 2008.

CARREIRA, R. C. C.; RONDON, J. N.; ZAIDAN, L. B. P. Produção de serapilheira em uma área de cerrado de Mogi-Guaçu, SP. **Instituto de Botânica**, Programa de pós graduação em biodiversidade vegetal e em meio ambiente, São Paulo, 2006. 11p

CARSWELL, F. E. et al. Seasonality in CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O flux at an eastern Amazonian rainforest. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. (D20), p. 8076. 2002.

CERRI, C. E. P. et al. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, v. 67, n. 6, p. 1879-1887. 2003.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídrica do solo em um pomar de lima acida Taheti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 239-246. 2001.

COSTA, A. C. L. et al. Variações sazonais das temperaturas do ar e do solo no projeto ESECAFLOR – Caxiuana –PA – Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 9. Y CONGRESSO MEXICANO DE METEOROLOGIA, 14., 2005, Cancún. **Anais...** Cancún: CBMET, 2005.

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

COSTA, F. de S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciada por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 323-332. 2008.

CRAVO, M. da S. et al. **Sistema Bragantino: agricultura sustentável para a Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 93p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 218).

D'ANDREA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.2, p.179-186. 2004.

D'AMÉLIO, M. T. S. **Estudo de gases de efeito estufa na Amazônia**. 2006. 178 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

DAVIDSON, E. et al. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, v.48, n.1, p. 53- 69. 2000.

DAVIDSON, E. A. et al. Minimizing artifacts and biases in chamberbased measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.113, p. 21– 37. 2002.

DAVIDSON, E. et al. An integrated greenhouse gas assessment of an alternative to slash-and-burn agriculture in eastern Amazonia. **Global Change Biology**, v.14, p. 998-1007. 2008.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. 87f. Dissertação (Mestrado de Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; CARVALHO, C. J. R. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon Basin. In: McCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. **The biogeochemistry of the Amazon Basin**. New York: Oxford University Press, p. 84-105. 2001.

DIAS-FILHO, M. B. **A fotossíntese e o aquecimento global**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 24p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 234).

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 30p.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 4<sup>a</sup> ed. Belém, PA: MBDF, 2011. 215p.

DIAZ, M. de. C. V. et al. **O preço oculto do fogo na Amazônia**: custos econômicos associados ao uso do fogo. Belém, PA: Report of IPAM /IPEAM/ WHRC, 2003. 43p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 1997. 212 p.

FEARNSIDE, P. M. **A floresta amazônica nas mudanças globais**. Manaus: INPA, 2003. 134p.

FEARNSIDE, P. M. Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia Brasileira. p. 259–263. In: TEIXEIRA, W.; KERN, D. C.; MADARI, B. C.; LIMA, H. N.; WOODS, W. I. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus, Amazonas: Universidade Federal do Amazonas (EDUA) & Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 420p.

FERNANDES, S. A. P. et al. Seasonal variation of soil chemical properties and CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in unfertilized and P- fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. **Geoderma**, Minnesota, v. 107, n.3/4, p. 227-241. 2002.

FERREIRA, S. J. F. et al. Nutrientes no solo em floresta de terra firme cortada seletivamente na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 31, n 3, p. 381-396. 2001.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 157-166. 2005.

FERREIRA, D. F. SISVAR. Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41. 2008.

FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. 2ª ed. São Paulo: Pedagógica e Universitária e EDUSP, v. 1, 1985. 350p.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Germany. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 320p.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p. (Embrapa Acre. Documentos, 74).

FREITAS, J. F. B. de. **Estoques e fluxos de carbono em plantações florestais de *Acacia mangium* e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* na Amazônia Oriental**. 98f. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – UFPA/MPEG/EMBRAPA/PPGCA, Belém. 2010.

GALLON, M. M. P.; SANCHES, L.; PAULO, S. R. DE. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel uma floresta tropical de transição amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 79-88. 2006.

GARCEZ, S. L. A.; MOTA, M. A. S. Validação das observações feitas com o pluviômetro de garrafa PET na cidade de Belém-PA. In: 16 CBMET - CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. **Anais....** Belém, PA. Amazônia e o Clima Global, 2010.

GASH, J. H. C. et al. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. 638p.

GERBER, P. et al. Policy options in addressing livestock's contribution to climate change. **Animal**, v. 4, p. 393-406. 2010.

GHOSH, P. K. et al. Carbon sequestration potential and sustainable yield index for groundnut- and fallow- based cropping systems. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 249-259. 2006.

GONÇALVES, P. H. L. et al. Variabilidade sazonal média horária do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis-SC, 2006. 1. CD-ROM.

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

GUILHOTO, J. J. M. et al. A importância da agricultura familiar no Brasil e em seus estados. 35 ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, ANPEC. **Anais...** Recife, 2007.

HÖLSCHER, D. et al. Nutrient input-output budget of shifting cultivation in Eastern Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 47, n. 1, p. 49-57. 1997.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2001: the scientific basis-contribution of working group 1 to the IPCC. Third Assessment Report.** Cambridge Univ. Press, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special report on carbon dioxide capture and storage**, Montreal, Canadá, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Novos cenários climáticos.** Quarto relatório de avaliação. Paris, 2007.

INTERNATIONAL CENTRE FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY (ICRAF). Agroforestry systems inventory (AFSI) project coordinators's report for the period September 1982 – June 1983. 1983. Disponível em: <[www.worldagroforestrycentre.org](http://www.worldagroforestrycentre.org)>. Acesso em: 15 de out. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População estimada do município de Mãe do Rio, em 2010.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 de set. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto de estimativa do desflorestamento bruto da Amazônia:** desflorestamento nos municípios da Amazônia Legal, Relatório 1998-2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal>>. Acesso em: 4 de set. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite:** 1998 - 2000 (São José dos Campos, Brasil, 2001). Disponível em: [http://www.inpe.br/Informacoes\\_Eventos/amazonia.htm](http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amazonia.htm). Acesso em: 24 de mar. 2009.

JOHNSON, C. M. et al. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 147, p. 245-252. 2001.

KATO, O. R. et al. Plantio direto na capoeira. **Ciência e Ambiente**, v. 29, p. 99-111. 2004.

KELLER, M. et al. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 10, p. 784-795. 2004.

KELLER, M. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in Tapajós National Forest, Brazil. **Earth Interaction**, v.9, p.1-28. 2005.

KRÜGER, G. C. T. et al. Dinâmica de carbono orgânico dissolvido no estuário do rio Paraíba do Sul, R. J., sob diferentes condições de maré e descarga fluvial. **Atlântica**, Rio Grande, v. 25, n. 1, p. 27-33. 2003.

KUTSCH, W. L.; BAHN, M.; HEINEMEYER, A. **Soil carbon dynamics.** Cambridge: University Press, Cambridge, UK, 2009. 298p.

LAL, R. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Review in Plant Science**, Boca Raton, v.22, n.2, p.151-184. 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004. 531p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. **Advanced Soil Science**, v.1, p. 27-294. 1985.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. Elsevier/Academic Press, Amsterdam, 2006. 328 p.

MACHADO, P. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quimica Nova**, v. 28, n. 2, p. 239-334. 2005.

MACKENSEN, J. et al. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. **Forest Ecology and Management**. Göttingen, Germany, v. 86. p.121-128, 1996.

MAHRT, L. Stratified Atmospheric Boundary Layers and Breakdown of Models. **Theoretical and Computational Fluid Dynamics**, v.11, p. 263-279. 1998.

MAIA, S. M. S. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, n. 1-2, p. 84-91. 2009.

MANNETJE, L.T. et al. **Carbon Sequestration in Tropical Grassland Ecosystems**. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2008. 221p.

MARENCO, A. J. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade** - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006. 212p. (Série Biodiversidade, v. 26).

MATSON, P. A.; HARRIS, R. C. **Biogenic trace gases**: measuring emissions from soil and water. Cambridge: Blackwell, 1995. 408p.

MEIRELLES FILHO, J. **O livro de ouro da Amazônia**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006. 442p.

MERCANTE, F. M. et al. Biomassa microbiana em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 479-485. 2008.

METCALFE, D. B., et al. Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, n. GO4001, p. 1-9. 2007.

METZGER, J. P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). **Landscape Ecology**, v. 17, p. 419-431. 2002.

MINISTÉRIO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA). **Agricultura familiar no Brasil e o censo agropecuário 2006**. 16p. 2009. Disponível em <http://www.mda.gov.br/portal/publicacoes/>. Acesso em: 20 de jul. 2010.

MODESTO, E. C. **Silagem de rama de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) para vacas leiteiras em lactação**: avaliação nutricional e desempenho produtivo.

2002. 237f. Tese (doutorado em zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2002.

MILLER JR, T. G. **Ciências ambientais**. São Paulo: Cengage Learning. Reimpressão da 1° Ed. 2007, 2008. 501p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.

MULLER, M. M. L. et al. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 103, n. 2, p. 279-288. 2004.

MURGUEITIO, E. et al. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1654-1663. 2010.

MYKLEBUST, M. C.; HIPPS, L. E.; RYEL, R. J. Comparison of eddy covariance, chamber and gradient methods of measuring soil CO<sub>2</sub> efflux in an annual semi-arid grass, *Bromus tectorum*. **Agricultural and forest meteorology**, v.148, n.11, p. 1894 – 1907. 2008.

NAIR, P. K. R.; GORDON, A. M.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Agroforestry. in JORGENSEN, S. E.; FATH, B. D. **Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology**, v. 1, Elsevier, Oxford, U.K, p. 101-110. 2008.

NEPSTAD, D. C. et al. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycle of Amazonian forest and pasture. **Nature**, v. 372, p. 666-669. 1994.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fire**. The Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, Brasília, 1999. 140p

NIEDER, R.; BENBI, D. K. **Carbon and nitrogen in the terrestrial environment**. Germany. Springer, 2008. 432p.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27. 2007.

NOBRE, P. Aquecimento global, oceano & sociedade. **Revista de Gestão Integrada em Saúde e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 3, p. 1-14. 2008.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de ecologia**. Tradução Pégasus Sistemas e Soluções. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 612 p.

OLIVEIRA, T. K. de et al. **Sugestões para implantação de sistemas silvipastoris**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 28p. (Embrapa Acre. Documentos, 84).

OLIVEIRA, J. S. R. **Uso do território, experiências inovadoras e sustentabilidade**: um estudo em unidades de produção familiares de agricultores na área de abrangência do programa PROAMBIENTE, Nordeste Paraense. 116f. 2006. Dissertação (mestrado em agriculturas familiares e desenvolvimento sustentável) - NEAF/UFLA/EMBRAPA, Belém. 2006.

OLIVEROS, L. F. C. **Emissões de CO<sub>2</sub> do solo sob preparo convencional e plantio direto em latossolo vermelho do Rio Grande do Sul**. 80f. 2008. Dissertação (mestrado em ciência do solo) - UFSM/CCR/PPGCS, Rio grande do Sul. 2008.

PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, v. 26, n. 8, p. 337-341. 2001.

PEREIRA, J. M.; REZENDE, C. de P.; RUIZ, M. A. M. Pastagens no ecossistema mata atlântica: atualidades e perspectivas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. **Anais...** Goiania: SBZ, p. 36-55. 2005.

PEREIRA, M. E. M. et al. Densidade do solo em sistema de preparo de área sem queima em Igarapé Açu, Pará. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 3., 2011, Belém, PA. **Anais...** Belém: ENAAG, 2011. 1 CD-ROM.

PICCININ, J. L. et al. Comportamento de solos alterados na região amazônica sob sistemas florestais com aplicação de resíduos da indústria madeireira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileiro: anais** Gramado: SBCS 2007. p. 1-5.

PINTO-JUNIOR, O. B. et al. Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 4, p. 813-822. 2009.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES J. L. M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). 2000. p. 287-308.

PREVISÃO Climática Regional para o Estado do Pará. **Boletim de Análise e Previsão Climática**. Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará – RPCH. Ano 4, n. 47, Nov. 2009a. Disponível em <http://www3.ufpa.br/rpch/>. Acesso: 25 set. 2010.

PREVISÃO Climática Regional para o Estado do Pará. **Boletim de Análise e Previsão Climática**. Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará – RPCH. Ano 3, n. 36, dez. 2009b. Disponível em <http://www3.ufpa.br/rpch/>. Acesso: 25 set. 2010.

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

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. Interannual variability in global soil respiration (1980-1994). **Global Change Biology**, v. 8, p. 800-812. 2002.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. Guanabara Kooga. Rio de Janeiro. v. 7, 2007. 830p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

RIVERO, S. L. M. et al. Cenários para a expansão da pecuária na Amazônia Brasileira e suas conseqüências para a Emissão de CO<sub>2</sub> (2000-2006). In: ENCONTRO DA ANPPAS, 4., **Anais...** Brasília, p. 1-12. 2008.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região da mata. Viçosa. **Revista Árvore**, v.26, n.5, p. 573-576. 2002.

RYAN, M. G.; LAW, E. B. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, v.73, n.1, p. 3-27. 2005.

SÁ, L. D. A.; VISWANADHAM, Y.; MANZI, A. O. Energy flux partitioning over the Amazon Forest. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 39, n. 1, p. 1-16. 1988.

SALDARRIAGA, J. G. et al. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 76, p. 938-958. 1988.

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

SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; SILVA, D. N. e. Sistema de corte e trituração da capoeira sem queima como alternativa de uso da Terra, rumo à sustentabilidade florestal no Nordeste Paraense. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 41-53. 2008.

SAMPAIO, I. C. G. **Biogeoquímica do carbono em solos de parcelas sob trituração, sob queima e sob capoeira**. 82f. 2008. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – UFPA/MPEG/EMBRAPA/PPGCA, Belém. 2008.

SANGUINO, A. C. et al. Análise econômica de investimento em sistemas de produção agroflorestal no Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 47, p. 23-47. 2007.

SANTOS, L. de O. L. dos. **Percepção de um grupo de agricultores da localidade São João do Município de Marapanim-PA, sobre o método de corte e trituração como alternativa ao método tradicional de corte e queima da vegetação secundária**. 2006. 184f. Dissertação (mestrado em agriculturas familiares e desenvolvimento sustentável) - NEAF/UFPA/EMBRAPA, Belém. 2006.

SCHERER-LORENZEN, M.; BONILLA, J. L. J. J; POTVIN, C. Tree species richness affects litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. **Oikos**, v. 116, p. 2108–2124. 2007.

SCHROTH, G. et al. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management**, v. 163, n. 1, p. 131-150. 2002.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS-SEPOF. **Estatística municipal de Mãe do Rio, em 2011**. Disponível em <http://www.sepof.pa.gov.br>. Acesso: 30 Fev., 2011.

SILVA, A. K. L. **Dinâmica de serapilheira e produção de raízes finas em plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) e floresta sucessional em Aurora do Pará, Amazônia Oriental**. 2009. 101f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – UFPA/MPEG/EMBRAPA/PPGCA, Belém. 2009.

SILVA JÚNIOR, J. de A. **Efeitos da exclusão da chuva no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará**. 2008. 80f. Dissertação (mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2008.

SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A. E. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v.8, n.4, p. 394-407. 2000.

SOARES, A. C. S. **Extratos botânicos para o controle de insetos-praga e doenças na agricultura familiar**. 2010. 118f. Dissertação (mestrado em agriculturas amazônicas) – UFPA/EMBRAPA/PPGAA, Belém. 2010.

SOMMER, R. **Water and nutrient balance in deep soils under shifting cultivation with and without burning in the Eastern Amazon**. 2000. 240f. PhD (Thesis) – Faculty of Agricultural Science, Göttingen, Cuvillier, Germany. 2000.

SOTTA, E. D. et al. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a tropical Forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p. 610-617. 2004.

SOTTA, E. D. et al. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuanã, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 57-64. 2006.

SOUSA, D. B. de et al. Paricá, *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**, Benevides, PA, n. 13, 2p. 2005.

SOUSA NETO, E. L. de et al. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p. 255-260. 2008.

SOUZA, J. R. S. et al. Temperature and moisture profiles in soil beneath forest and pasture areas in eastern Amazonia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and climate**, Chichester: John Wiley; Sons, p. 125-137. 1996.

SOUZA, J. R. S. et al. Variação Sazonal de Temperatura e Umidade em Solos sob Floresta, Manguezal e Pastagem na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza – Ce. **Anais...** Fortaleza: CBMET, 2004.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p. 195-207. 1992.

STULL, R. B. An Introduction to boundary layer meteorology. **Kluwer Academic, Norwell**, Mass, 1988. 666p.

TAKIMOTO, A.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V. D. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 125, p. 159-166. 2008.

TAPIA-CORAL, S. C.; LUIZÃO, F. J.; WANDELLI, E. V. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 29, n. 3, p. 477-495. 1999.

URQUIAGA, S. et al. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. de. **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Embrapa Agroecologia, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 12, 2005. 368p.

VALENTE, M. A. et al. Mapeamento de solos das áreas de duas mesobacias hidrográficas no Nordeste Paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia, MG: CBCS, 2011. 4p.

VASCONCELOS, S. S. et al. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, p. 01-10. 2004.

VERCHOT, L. V. et al. Land use change and biogeochemical controls of methane in soils in eastern Amazonia. **Ecosystems**, v.3, p.41-56. 2000.

VERCHOT, L. V. et al. Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NO and N<sub>2</sub>O in an improved fallow agroforestry system in eastern Amazônia. *Agriculture*. **Ecosystems and environment**, n.126, p.113-121. 2008.

VISWANADHAM, Y. et al. Micrometeorological Measurements in Amazon Forest during GTE/ABLE-2A Mission. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. D9, p. 13669-13682. 1990.

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

WANDELLI, E. V. **Estoque de carbono em diferentes cenários de uso da terra ao norte de Manaus, Amazônia Central Brasileira**. 2008. 162f. Tese (doutorado em ciências biológicas) - INPA/UFAM/PIPGB, Manaus. 2008.

WICKEL, B. Water and nutrient dynamic of a humid tropical watershed in Eastern Amazon. Center of Development Research, University of Bonn, Thesis of Doctor. **Ecology and Development Series**, n. 21, 135p. 2004.

WILLIAMS, A. C.; SCANLON, T. M.; ALBERTSON, J. D., Influence of surface heterogeneity on scalar dissimilarity in the roughness sublayer. **Boundary-Layer Meteorology**, v.122, p.149-165. 2007.

WOLF, B.; SNYDER, G. H. **Sustainable Soils: the place of organic matter in sustaining soils and their productivity**. New York: Oxford, 2003. 352p.