

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

HENRY MAVISOY MUCHAVISOY

ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL

SÃO LUÍS
Maranhão - Brasil
Setembro de 2013

HENRY MAVISOY MUCHAVISOY
Engenheiro Agroflorestal

**ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da
Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção
do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Ph.D. Guillaume Xavier Rousseau

SÃO LUÍS
Maranhão - Brasil
Setembro de 2013

Mavisoy, Henry Muchavisoy.

Estoques de carbono em floretas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazonia Oriental / Henry Muchavisoy Mavisoy.– São Luís, 2013.

64f

Monografia (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2013.

Orientador: Prof. Ph.D Guillaume Xavier Rousseau.

1.Desmatamento. 2.Mudança do uso do solo. 3.Serviços ambientais. I.Título

CDU: 574.4

**ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL**

HENRY MAVISOY MUCHAVISOY

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. Guillaume Xavier Rousseau (Orientador)

Doutor em Biologia Vegetal e do Solo

Universidade Estadual do Maranhão / UEMA

Prof. Dr. Christoph Gehring (UEMA)

Doutor em Agroecologia Tropical

Universidade Estadual do Maranhão / UEMA

Prof. Dr. Fabrício Brito Silva

Doutor em Sensoriamento Remoto

EMBRAPA-COCAIS

DEDICO

A todos os povos originários e caminhantes milenários da mãe terra, a suas diversas formas de enxergar o mundo, a suas lutas constantes por aquilo que garante sua vida: seus territórios.

A meu povo Kamëntsa Biyá

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Bëngbe Bëtsá “Nosso ser creador” pela vida, e pelas manifestações maravilhosas da natureza, aqui em Tsabsana-mamá “Madre Terra”.

O resultados desta pesquisa foram possíveis graças á solidariedade e colaboração de pessoas e instituições que contribuíram direta e indiretamente na consecução dos objetivos planteados, agradeço especialmente:

Ao Governo Brasileiro e em seu nome à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela Bolsa concedida e que permitiu desenvolver o meu curso de Pós-Graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Cientifico do Estado do Maranhão FAPEMA pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Universidade Estadual do Maranhão e em especial ao programa de Pós-Graduação em Agroecologia por abrir um espaço de participação dentro da equipe acadêmica de mestrandos da turma de 2011.

À meus pais Mercedes e Serafín pela ajuda e orientação constante em todas as etapas de crescimento e consecução dos meus sonhos, a meus irmãos William e Angela pelo acompanhamento e voz de apoio em todas as minhas lutas. A todos meus familiares e amigos da Colômbia que fizeram possível esta viagem maravilhosa.

Ao meu orientador Guillaume Xavier Rosseau e sua esposa Danielle Celentano pela confiança depositada em mim, por todas as contribuições no processo de pesquisa científica, o apoio constante na superação de todos os desafios acadêmicos e principalmente por sua valiosa amizade.

Ao meu co-orientador Christoph Gehring, por todas as contribuições científicas da pesquisa, apoio incondicional e sua valiosa amizade.

Ao Dr. Fabrício Brito Silva, membro da banca de defesa, pelas valiosas contribuições á pesquisa.

Ao Dr. Eder Brawn, membro da banca de qualificação, pelas valiosas contribuições ao documento de dissertação.

À professora Dra. Francisca Muniz e ao mestrando Elivaldo Moreira do Projeto Pesquisa em Biodiversidade PPBio pela ajuda na coordenação da pesquisa em áreas da reserva biológica de Gurupi.

Ao Professor Dr. Niro Higuchi líder cientista do Laboratório de Manejo Florestal do INPA e a agência de Cooperação Brasileira pela vaga concedida para participar no Curso de Treinamento em Projetos de Carbono em América Latina, Manaus 2012.

À professora Dr. Simone Aparecida Vieira líder cientista do Núcleo de Pesquisa em Meio Ambiente e Sociedade da Unicamp, grato pelas orientações e críticas construtivas à pesquisa.

À doutoranda Hulda Rocha e a equipe de trabalho em Meio Ambiente do INCRA-MA pelo apoio na caracterização de SAF's em áreas de acatamentos.

A EMBRAPA da Amazônia Oriental pelo apoio no deslocamento no Município de Tomé-Açu.

À Cooperativa Agrícola Mista Tomé de Açu, Pará por facilitar o trabalho de pesquisa em área de produtores associados.

A todos os produtores rurais que permitiram o acesso a suas áreas de agroflorestas e capoeiras.

Também, agradeço a “minha galera” de amigos brasileiros da turma de Pós-graduação em Agroecologia da UEMA 2011, grato pela paciência e ajuda na aprendizagem da língua portuguesa e por toda a solidariedade em todo o processo acadêmico de aprendizagem.

A todo o pessoal, estudantes do Programa de Agronomia da UEMA que acompanharam voluntariamente em diferentes atividades da pesquisa, muito grato pela força!

Muito grato a Adriana Rocha, Alexandra Rocha, Marcelo Zelarayan, Laissa Campos e suas famílias por compartilhar inúmeras vezes “momentos em família” ao Márcio Fernandes, ao Ernesto Gomez da Bolívia e a meus colegas da Colômbia Robinson Cabezas, Julio Bravo e Stefania Pinzón... esta viagem foi muito agradável com todos vocês.

Árbol que no eres otra cosa
que dulce entraña de mujer,
pues cada rama mece airosa
en cada leve nido un ser:

dame un follaje vasto y denso,
tanto como han de precisar
los que en el bosque humano, inmenso,
rama no hallaron para hogar...

Gabriela Mistral

SUMÁRIO

TABELA DE FIGURAS	I
TABELA DE TABELAS	II
ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL	III
RESUMO	III
CARBON STOCKS IN FOREST, FALLOW AND AGROFORESTRY SYSTEMS FROM EASTERN AMAZONIA	IV
ABSTRACT	IV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISSÃO DE LITERATURA	3
2.1 O carbono e as mudanças do uso do solo na Amazônia	3
2.2 Sequestro de carbono em sistemas agroflorestais e capoeiras após desflorestamento	4
2.3 Estimativa de estoques de carbono	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
ARTIGO	13
ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL	13
1. INTRODUÇÃO	18
2. MATERIAIS E MÉTODOS	19
2.1 Área de estudo	19
2.2 Esquema de amostragem	20
2.3 Usos do solo avaliados	20
2.4 Medições dos estoques de carbono	22
2.5 Estrutura da vegetação	24
2.6 Análises estatísticas	24
3. RESULTADOS	25
3.1 Carbono total dos sistemas	25
3.2 Carbono na biomassa viva	26
3.3 Distribuição do carbono na vegetação	26
3.4 Carbono na cromassa	27
3.5 Carbono do solo	27
4. DISCUSSÃO	28
4.1 Incertezas nas estimativas da biomassa	28

4.2 Carbono total acima do solo CTAS _____	28
4.3 Estrutura e C da biomassa acima do solo _____	29
4.4 Perdas e recuperação do CTAS pelas ações antropogênicas _____	31
4.5 Carbono do solo _____	32
5. CONCLUSÃO _____	33
AGRADECIMENTOS _____	33
BIBLIOGRAFIA CITADA _____	34
TABELAS E FIGURAS _____	44

TABELA DE FIGURAS

Revisão de Literatura

Figura 1. Dinâmica de C após desflorestamento em sistemas de corta e queima	5
Figura 2 Dinâmica de C a partir de um área de pastagem	6

Artigo

Figura 4 . . Carbono total em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental	45
Figura 5. Distribuição de (A) número de árvores (ha^{-1}) e (B) carbono na biomassa viva acima do solo (Mg ha^{-1}) em tamanhos diamétricos (DAP) em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental	45

TABELA DE TABELAS**Artigo**

Tabela 1. Distribuição dos usos do solo avaliados na Amazônia Oriental (n= 57).....	45
Tabela 2. Modelos alométricos utilizados para converter as medidas da vegetação e madeira morta em biomassa acima do solo.....	45
Tabela 3. Carbono estocado por compartimentos em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental.....	45
Tabela 4. Abundância de árvores em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental.....	45
Tabela 5 Distribuição do C em árvores > 10 cm DAP em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental.....	45

ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL

RESUMO

Esta pesquisa objetiva quantificar e comparar os estoques de carbono em diferentes usos do solo na Amazônia Oriental. Estimou-se o carbono da biomassa viva acima do solo, a necromassa, o solo, e em seu conjunto o carbono total em formações vegetais de floresta ombrófila densa, floresta de restinga, sistemas agroflorestais multiestratificados complexos, comerciais, quintais, capoeiras e pastagens. O carbono total em florestas ombrófilas ($164,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e sistemas agroflorestais complexos ($161,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi significativamente maior em comparação com capoeiras enriquecidas ($71,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) e áreas de pastagens ($43,9 \text{ Mg ha}^{-1}$). Florestas de restinga, sistemas agroflorestais e capoeiras em estágios avançados de desenvolvimento tiveram estoques intermediários. Árvores de grande porte ($> 50 \text{ cm DAP}$) estocaram quantidades significativas de carbono da vegetação, em sistemas agroflorestais comerciais maduros estocaram 83 Mg ha^{-1} (89%), em sistemas agroflorestais complexos 78 Mg ha^{-1} (63%) e em florestas ombrófilas 47 Mg ha^{-1} (39%). Estoques de carbono do solo em pastagens se mostraram significativamente menores em comparação com todos os outros usos do solo avaliados. Sistemas agroflorestais apresentam alto potencial de armazenamento de carbono enquanto que a substituição de florestas para áreas de pastagens implica perdas drásticas em todos os componentes do estoque de carbono.

Palavras chaves: Arco desmatamento, biomassa, carbono do solo, estrutura da vegetação, mudança de uso da terra, multiestrata, necromassa, serviços ambientais.

CARBON STOCKS IN FOREST, FALLOW AND AGROFORESTRY SYSTEMS FROM EASTERN AMAZONIA

ABSTRACT

This research aims to quantify and compare the carbon stocks in different land uses in the Eastern Amazon. Carbon was estimated in above ground biomass, necromass, soil and as a whole the total carbon in dense evergreen lowland, seasonally flooded forest (restinga), complex, commercial and home garden multistrata agroforestry systems, fallows and pasture. Total carbon in dense evergreen lowland (164.0 Mg ha⁻¹) and complex agroforestry systems (161.6 Mg ha⁻¹) was significantly higher compared with enriched fallows (71.6 Mg ha⁻¹) and pasture areas (43.9 Mg ha⁻¹). Seasonally flooded forest, old agroforestry and fallow systems stored intermediate amounts. Large trees (> 50 cm DBH) stored significant amounts of carbon in vegetation, in mature commercial agroforestry systems this large trees stored 83 Mg ha⁻¹ (89%), in complex agroforestry systems 78 Mg ha⁻¹ (63%) and in dense evergreen lowland 47 Mg ha⁻¹ (39%). The soil carbon stocks pastures were significantly lower compared to all land uses evaluated. Agroforestry systems have high carbon storage potential while substitution of forests for pasture areas involves drastic losses in all components of carbon storage.

Keywords: arc of deforestation, biomass, soil carbon, vegetation structure, land use change, necromass, environmental services.

1. TRODUÇÃO

O Brasil é responsável pelos 5% das emissões de CO₂ no mundo, localizando-se na quarta posição dos países com maiores emissões, a diferencia do resto do mundo onde o setor de energia transporte gera as maiores emissões de CO₂, no Brasil, mais do 60% destas são realizadas principalmente pela mudança da floresta Amazônica para extração madeireira, avanço da fronteira agrícola, agricultura de corta e queima e posteriormente a implantação de pastagens (MONOZNI et al. 2011). Os GEE são liberados pelo desmatamento através da queima e decomposição da biomassa, pelos solos, pela exploração madeireira, pelas hidrelétricas, pelo gado e pelas queimadas recorrentes de pastagens e de capoeiras. Incêndios florestais também emitem gases, mas não estão incluídos nos cálculos (FEARNSIDE, 1993).

Os estados do Maranhão e Pará fazem parte dos frentes mais antigos de desflorestamento Amazônico (MOURA et al. 2011), nestes estados, e em geral na Amazônia, o tipo de agricultura predominante praticado pelo agricultor familiar ainda é o sistema de agricultura itinerante, migratória ou de corta e queima, caracterizado pela alternância entre um ou dois ciclos de produção (culturas alimentares) e um período de pousio (capoeira), seguido de derruba e queima da vegetação na etapa de preparo da área (KATO et al. 2009, DENICH, 2000).

Em consequência da pressão demográfica, o período de pousio da vegetação secundária tem diminuído e as práticas de manejo do período de agricultura se caracterizam pelo uso intensivo do solo com baixo nível tecnológico e um progressivo decréscimo da produtividade, estas características motivam ao agricultor a desflorestar novas áreas para continuar produzindo (KATO 2009). Uma das consequências ambientais do sistema de corta e queima é a perda de carbono da biomassa e do solo, liberando CO₂ para a atmosfera impactando negativamente sobre o clima global (KOTTO et al. 1997).

Em contraste ao sistema de corta e queima, a agricultura permanente como os Sistemas agroflorestais, praticados milenariamente pelos povos originários como base de sua subsistência, agora posicionam-se com boas perspectivas de desenvolvimento sustentável na região (LUIZÃO et al. 2006). Estes sistemas resultam na oferta de serviços ambientais como sequestro de carbono, conservação do solo, ciclagem de água e nutrientes e manutenção da biodiversidade em níveis similares aos ecossistemas naturais.

Além disso, sistemas agroflorestais apresentam outras vantagens reconhecidas como a combinação de produtos de mercados e subsistência, geração de um maior número de produtos e serviços a partir de uma mesma unidade de área, diminuição das emissões de gases efeito estufa associados às cortas e queimadas e aumento das chances da fixação do homem no campo (CARVALHO, 2011).

Levando em consideração a relevância da transformação da floresta Amazônica para a implementação de diferentes usos do solo como estratégias dos produtores rurais e conseqüentemente na modificação dos estoques de C em relação à floresta intacta, esta pesquisa visou caracterizar e comparar a capacidade de armazenamento de carbono em diferentes cenários de uso do solo na Amazônia Oriental.

Para atingir este objetivo, foram quantificados os estoques de carbono na vegetação, a necromassa e o solo em fragmentos de floresta ombrófila densa, florestas de restinga, sistemas agroflorestais multiestratificados complexos, quintais, capoeiras enriquecidas, sistemas agroflorestais comerciais e capoeiras em diferentes idades e sistemas de pastagens com predominância da palmeira Babaçú *Atalea speciosa* (Arecaceae).

2. REVISSÃO DE LITERATURA

2.1 O carbono e as mudanças do uso do solo na Amazônia

Pelo menos 60% do território brasileiro é ocupado pela Amazônia Legal representando cerca de 40% dos remanescentes de florestas úmidas tropicais (LAURANCE et al., 2001). Nas recentes décadas, o crescimento populacional tem crescido em taxas exponenciais, entre 130% desde 1970 atingindo 17 milhões no 2005 (IBGE 2005). O crescimento exponencial é associado às mudanças da cobertura tem causado impactos negativos na perda da biodiversidade, o sequestro de carbono e a regulação do ciclo da água (CERI et al., , 2012).

Das emissões brasileiras anuais, o desmatamento da Amazônia contribui com aproximadamente 60%. Considerando apenas a quantidade de C emitido pelo desmatamento da floresta amazônica é possível afirmar que zerar o desmatamento da região não terá peso significativo no processo das mudanças climáticas globais, no querendo dizer que se deve ignorar o desmatamento. A capacidade de troca gasosa entre a atmosfera e a floresta amazônica é desconhecida e também não deve ser ignorada (HIGUCHI et al., 2012).

O estoque de C da floresta amazônica brasileira varia entre 50,8 e 57,5 bilhões de toneladas. Em relação ao balanço natural entre a fotossíntese e a respiração das árvores, o Laboratório de Manejo Florestal LMF do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA indicam que nos últimos 20 anos, as florestas primárias de região retiraram da atmosfera, anualmente, entre 171 e 369 milhões de toneladas de C. A emissão global anual é de, aproximadamente, 8 bilhões de toneladas (LMF citado por HIGUCHI et al., 2012).

Quando a floresta é mantida viva em pé, há um estoque de carbono aprisionado em cada hectare de 159 ou 583 Mg C ha⁻¹ ou 583 Mg de CO₂. No entanto, quando a floresta é derrubada e queimada, por exemplo, tudo que foi acumulado em centenas de anos, volta para a atmosfera. Historicamente nos últimos 30 anos o desmatamento médio na Amazônia foi de 1,721,700 hectares por ano (INPE, 2011).

Além de que o desmatamento na Amazônia se posiciona como a principal atividade antropogênica na emissão de GEE, se trata de uma atividade que não agrega renda à sociedade. Segundo Higuchi (2006), o desmatamento não está significativamente correlacionada com o PIB per capita, afirmado além, que a região Amazônica pode se

desenvolver integralmente e contribuir com a geração de riquezas do país, por meio da proteção e a conservação de suas florestas e de seu papel na manutenção dos ecossistemas.

2.2 Sequestro de carbono em sistemas agroflorestais e capoeiras após desflorestamento

Os sistemas agroflorestais SAF's, definidos como o uso e manejo intensivo da terra que melhora os benefícios das interações biológicas criadas quando árvores-arbustos são deliberadamente combinados com cultivos ou a pecuária (NAIR, 1993), estão ganhando atenção como atividade de mitigação nas mudanças do uso da terra em países em desenvolvimento devido a seu potencial de armazenamento de carbono (ANDERSON & ZERRIFFE, 2012). Aproximadamente 1,2 bilhões de pessoas (20% da população do mundo) dependem diretamente dos produtos e serviços agroflorestais no setor rural e urbano de áreas de países em desenvolvimento (LEAKEY AND SANCHEZ, 1997). Os SAF's abrangem uma ampla variedade de práticas, incluindo a rotação de capoeiras com culturas, SAF's complexos, SAF's simples, sistemas silvo pastoris e SAF's urbanos (STEPPLER and NAIR, 1987)

A quantidade de C sequestrado no solo, a biomassa e a necromassa dentro dos sistemas agroflorestais varia dependendo de uma série de fatores como as características da região, a estrutura da vegetação a idade das plantas perenes, a qualidade do local, o manejo, o histórico de uso da terra (NAIR, 2010). Baseado na noção de que a incorporação da árvore em áreas de cultura e pastagens resultaria numa capacidade de armazenamento neto de C acima e embaixo do solo (NAIR et al., 2009) com maior potencial para sequestrar C do que pastagens ou monoculturas (KIRBY and POTVIN, 2007).

O carbono acima do solo armazenado em florestas do trópico úmido, geralmente registrado em 230 Mg C ha⁻¹, é modificado quando é substituído para sistemas com menor cobertura florestal, por exemplo, áreas de agricultura com queima 45 Mg C ha⁻¹, capoeiras arbustivas 34 Mg C ha⁻¹, capoeiras de florestas secundárias em estágios avançados 112 Mg C ha⁻¹. Depois da queima e um período de 2 anos de práticas culturais, perto de 80 por cento dos estoques de carbono são perdidos. A maior parte do estoque de carbono é perdido pela queima de biomassa, outra parte se perde pela decomposição do C do solo por causa da temperatura do solo mais elevada durante os incêndios e depois, como resultado de um aumento da radiação solar incidente (SANCHEZ, 2000).

O estoque de carbono orgânico do solo COS de 0-20 cm de profundidade em florestas não perturbadas podem atingir 40 Mg C há⁻¹ (PALM et al., 2004). Em proporções os usos do solo como sistemas agroflorestais podem mante entre 80 e 100% do COS em relação a floresta intacta, capoeiras com pousio de longo prazo entre 90 e 100%, pastagens manejadas 80%, capoeiras de curto prazo 65% e pastagens degradadas 50% ou menos. Exceto pela capoeira de corto prazo, as outras alternativas de uso do solo, perdem menos do 20% do carbono da superfície do solo. Esta constatação sugere que o potencial de sequestro de carbono no trópico úmido se encontra principalmente acima do solo (SRINIVAS, 2012).

A intensificação do sistema de agricultura itinerante de “cultura-capoeira” inicialmente incrementa a produção enquanto os estoques de carbono terrestre no solo e na biomassa acima do solo decrescem (Figura 1), pelo qual, tanto a intensidade critica de produção da cultura e sequestro de carbono diminui. Os intercâmbios entre os interesses locais (produtividade) e globais (estoques de C) em ditos sistemas, provavelmente não é linear (NOORDWIJK 2002). Estes intercâmbios são relevantes nos debates da eliminação da pobreza e a conservação do meio ambiente como é estabelecido já no programa de Alternativas para a corta e queima ASB (Alternatives to slash and burn) (TOMICH et al. 1998).

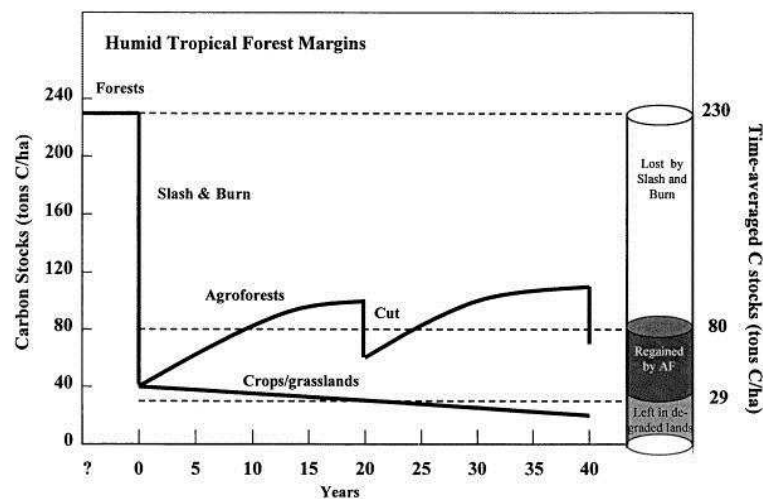


Figura 1. Dinâmica de C após desflorestamento em sistemas de corta e queima Curso de tempo de estoques de carbono do sistema (biomassa e no solo), linhas contínuas e ações por média de tempo C (linhas pontilhadas) em sistemas agroflorestais vs culturas seguido por pastagens nas margens da floresta tropical úmida (SANCHEZ, 2000).

A transformação da floresta original em vários tipos de práticas agroflorestais resulta também no decréscimo dos estoques de carbono, mas em proporções menores em

comparação com transformação da floresta para áreas para a agricultura, pastagens o áreas degradadas de pastagens.

As taxas de sequestro de carbono se tornam positivas em capoeiras secundárias (5-9 Mg C ha⁻¹ ano); sistemas agroflorestais complexos (2-4 Mg C ha⁻¹) e SAF's simples com uma espécie dominante como palma de óleo (7-9 Mg C ha⁻¹). Porém, a extração de material vegetal realizado pelos produtores tanto em SAF's como em capoeiras ao longo do desenvolvimento podem representar quedas no acúmulo de carbono (TOMICH et al, 1998) (Figura 2).

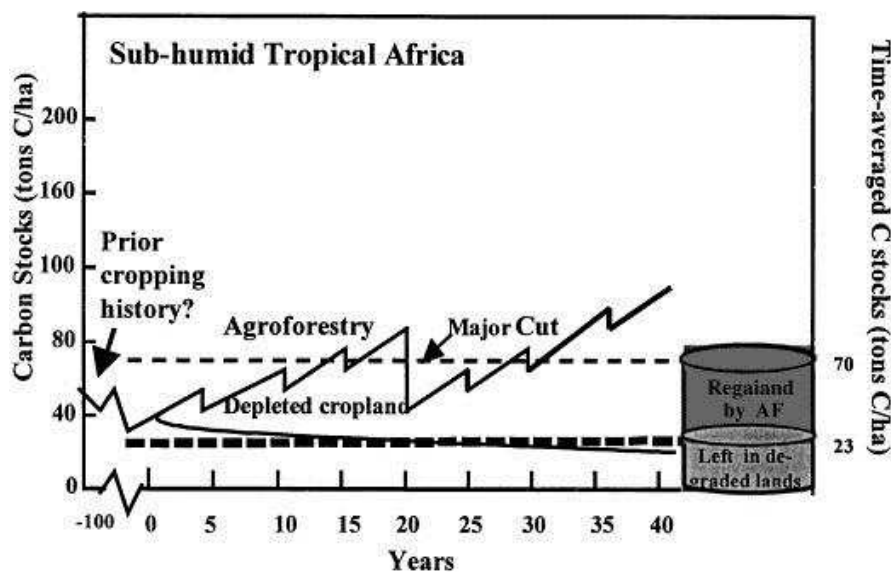


Figura 2 Dinâmica de C a partir de um área de pastagem

2.3 Estimativa de estoques de carbono

O sequestro de carbono envolve principalmente a entrada do CO² atmosférico durante a fotossíntese e a transferência do CO² na vegetação, os detritos, e o solo (MOHAN et al. 2010). O C nos sistemas pode ser separado em partes específicas, como biomassa viva, necromassa, tanto acima do solo (árvores, arbustivos, herbáceas, troncos, folhas) como em baixo do solo (raízes finas, grossas, organismos do solo, o C armazenado em vários horizontes do solo).

Biomassa viva acima do solo: Toda a biomassa da vegetação acima do solo é susceptível de ser estimada mediante relações de formulas alométricas (HAMBURG 2000). As árvores, como a maioria dos organismos, têm uma elevada forma determinística. Para as

árvores, a altura total da árvore, e o diâmetro a 1,30 m de altura da superfície do solo (conhecido também como a altura do peito DAP) permite prever a biomassa da árvore com um alto grau de precisão. As equações alométricas podem ser localmente desenvolvidas por amostragem destrutiva ou obtidas mediante informação da literatura (HAIRIAH et al. 2001).

Uma vez que as equações das espécies têm sido estabelecidas ou selecionadas, só é necessário medir o DAP da árvore e possivelmente outro parâmetro usado na equação, como a altura, densidade da madeira, área basal. O peso da matéria seca das árvores é convertido no peso do carbono multiplicando o peso total com a fração do carbono por o peso da matéria seca. Isso é obtido pela medida direta ou usando por defeito o fator 0,5 proposto pelo IPCC (2007). O carbono total armazenado nas árvores é a soma do carbono estimado de todas as árvores encontradas dentro de uma determinada área. A biomassa viva da vegetação do sotobosque é medida por amostragem destrutiva.

Carbono da serapilheira (detritos < 2 cm diâmetro): a maneira mais adequada de estimar este estoque é diretamente, geralmente a coleta é realizada em quadros com tamanhos e número de repetições segundo a heterogeneidade do sistema e a escala da parcela (HERGOUALC'H 2011). Este estoque dinâmico permite a compressão de entradas e saídas de nutrientes do sistema e as taxas de deposição da serapilheira e sua subsequente decomposição contribui com a regulação da ciclagem de nutrientes e a produtividade primária assim como a manutenção da fertilidade do solo. A produção de serapilheira realizada pelas plantas, particularmente pelas árvores nas florestas, é o maior recurso de matéria orgânica e energia para o solo. No caso de agroflorestas, a deposição e decomposição da serapilheira realizada pelas árvores são consideradas um fator importante contribuindo com a qualidade do solo e a formação da camada húmica relacionada com a circulação de nutrientes, e diferente processos com os microorganismos (Nair, 2004).

Necromassa (madeira morta > 2 cm diâmetro): Os estoques de necromassa resultam do balance de dois processos, produção e decomposição. Em florestas amazônicas não perturbadas estima-se que a necromassa acima do solo estocam entre 2,9 Mg C há⁻¹ e 42,8 Mg C ha⁻¹ (SCOTT et al. 1992) e as taxas de produção entre 4,2 Mg C há⁻¹ em florestas da Amazônia central (CHAMBERS et al. 2000). As mudanças do uso do solo afetam diretamente o ciclo de carbono nos ecossistemas terrestres tanto em termos de estocagem como nas trocas com a atmosfera, estas mudanças influenciam diretamente os estoques de necromassa no chão e em pé através de processos como o fogo, as práticas de agricultura e a exploração seletiva de madeira (UHL et al., 1998).

Solo: O método mais comum a medir estoques de carbono no solo consiste na determinação simultânea do teor do C e a densidade aparente das capas do solo sistematicamente definidas (geralmente cada 10 cm) para uma certa profundidade do solo (IPCC 2003, HAMBURG 2000). Nos solos minerais, embora que a matéria orgânica está distribuída a longo do primeiro metro e ao um metro e meio da superfície do solo, este decresce rapidamente com o incremento da profundidade. Em solos orgânicos, o teor de C não necessariamente decresce com a profundidade, no caso, a valoração dos estoques de carbono requer uma amostragem de toda a profundidade do perfil do solo. O estoque de carbono no solo e geralmente calculado sob uma base volumétrica (é o produto do carbono no solo, a densidade aparente e a espessura da camada); no entanto, a comparar a situação em diferentes densidades aparentes, o calculo baseado numa base de massa equivalente é mais apropriado (ROSCOE e BURMAN, 2003).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, E.K. & ZERRIFFI, H. Seeing the trees for the carbon: agroforestry for

CARVALHO, W. Estoques de carbon e fracionamento físico da matéria orgânica do solo de cultivos de palma de óleo em sistemas agroflorestais na Amazônia Oriental. Dissertação. Universidade Federal Rural da Amazônia, Mestrado em Agronomia. 2011.

CERRI.,C et al. Carbon Cycling in the Amazon. Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle, 2012

CHAMBERS, J. Q., HIGUCHI, N., SCHIMEL, J. P., FERREIRA, L. V., & MELACK, J. M.. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia*, 122(3), 380–388. doi:10.1007/s004420050044, 2000

DENICH, M., VLEK,P., SÁ,T., VIELHAUER., K, LÜCKE. A Research Concept for the Development of Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture in the Eastern Amazon Region, (i), pp.689–697. In, German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg, September, Session 6: Concepts and Paradigms for Management of Ecosystem Resources, 2000

FEARNSIDE.,P; LEAL., J., FERNANDES.,F. Rainforest burning and the global budget: biomass combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*. 98, 16733-16743, 1993.

HAMBURG S. P, Simples rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry offset projects, *Mitigation and Adaptation Strategies for global change*, vol 5, pp 25-37, 2000

HERGOUALC'H, K. Principles and Methods for assessing climate change mitigation as an ecosystem service in agro ecosystems. In. *Ecosystem services from agriculture and agroforestry, Measurement and payment*. Rapidel B, De Clerck (eds). Earthscan. 2011

HARIAH, K, NOORDWIJK, M. Methods for sampling carbon stocks above and below ground: ASB LN 4B, in M Van Noordwijk et al (eds). *Towards Integrate natural resource management in forest margins of the humid tropics: Local action and global concerns*. International Centro for Research for Global Change, vol 5,, pp 25-37, 2000.

HIGUCHI, N. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*. V 39, p. 67-71. Ed. Nov. 2006

HIGUCHI, F., FILHO,A., SILVA, R., LIMA, A., SANTOS., J., HIGUCHI, N. A floresta e mudanças climáticas, in. (Eds GASPARETO, M., HIGUCHI, N. 2 ED). *A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental*, 2012

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário 2006: Resultados Preliminares*. IBGE, Rio de Janeiro, pp 1-146, 2007

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available at <http://www.ibge.com.br>, 2005

Instituto de Pesquisas Espaciais INPE, disponível em. <http://www.inpw.gov.br>. 2011

IPCC. *Good practice guidance for land use, Land use change and forestry*. Institute for global environmental strategies (IGES), Japan, 2003.

IPCC. *Cambio climático, Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el*

Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri,R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs., 2007

KATO, M.S.A., KATO, O.R., DENICH, M., VLEK, P.L.G.. Fire free alternatives to slash and burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizer. *Field Crops research*. V.62.p. 225-237, 1999.

KATO, O.R. Projeto dendê: Sistemas agroflorestais na agricultura familiar. (Oilpalm Project: Agroforestry systems in smallholder agriculture). Embrapa Eastern Amazonia, 2009.

KIRBY, K. R., AND POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *For. Ecol. Manage.* 246, 208–221, 2007

KOTTO,S., JEAN,W., PAUL, L APPOLINAIRE, M. Carbon dynamics in slash-and-bum agriculture and land use alternatives of the humid forest zone in Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.V.65.245-256, 1997

LAURANCE WF, COCHRANE MA, BERGEN S et al. The future of the Brazilian Amazon. *Science* 291:438–439, 2001

LEAKEY RRB AND SANCHEZ PA. How many people use agroforestry products? *Agroforestry Today* 9(3): 4–5, 1997

LUIZÃO, F.J, TAPIA CORAL,S., et al .Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas da Amazônia. IN. VI cbsaf, Campos dos Goytacazes, 2006. *Anais. Campos dos Goytacazes: UENF*,2008, p 87-98.

MONZONI, M., OSORIO G., OLIVEIRA., B. Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no brasil, processos industriais e tratamento de resíduos. Fundação Getulio Vargas. Disponível em: www.fgt/ces/epc, 2011

MOHAN KUMAR, RAMACHANDRAN NAIR. Carbon Sequestration Potencial of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges. *Avances in Agroforstry* 8. Springer, pp 307, 2010

MOURA W, FUKUDA J, LISBOA E, GOMES B, OLIVEIRA S, SANTOS M, DE CARVALHO A, MARTINS M. A reserva Biológica do Gurupi como instrumento de conservação da natureza na Amazônia Oriental. Pp. 25-31 in Martins M and Oliveira T (eds). Amazônia Maranhense, diversidade e conservação. Museu Paraense Emílio Goledi, 2011.

NAIR, P. K. R., AND NAIR, V. D.. Carbon storage in North American agroforestry systems. In “The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect” (J. Kimble, L. S. Heath, R. A. Birdsey, and R. Lal, Eds.), pp. 333– 346. CRC Press, Boca Raton, USA, 2003

NAIR, P. K. R., NAIR, V. D., KUMAR, B. M., & HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy*, 12(8), 1099–1111. doi:10.1016/j.envsci.2009.01.010, 2009

NAIR, P.K.R. Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. *Agroforestry Systems*, 86(2), pp.243–253. Available at: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10457-011-9434-z> [Accessed November 7, 2012]

NOORDWIJK, M. Scaling trade-offs between crop productivity, carbon stocks and biodiversity in shifting cultivation landscape mosaics: the FALLOW model. *Ecological Modelling*, 149(1-2), pp.113–126. 2002 Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030438000100518X>.

PALM C, TOMICH T, VAN NOORDWIJK M, VOSTI S, GOCKOWSKI J, ALEGRE J, VERCHOT L. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). *Environ Dev Sustain* 6(1):145–162, 2004

ROSCOE, R. AND BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol, *Soil and Tillage Research*, vol 70, pp 107 - 119 , 2003

SANCHEZ, P.A.. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics, 2000

SCOTT, D.A., PROCTOR, J., THOMPSON, J. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *Journal of Ecology* 80, 705-717, 1992.

SRINIVAS K.. Soil Carbon Sequestration under Agroforestry Systems Central Research Institute for Dryland Agriculture, Santoshnagar, Hyderabad – 500-059

STEPPLER, H.A. AND P.K.R. NAIR (EDS.). Agroforestry-a Decade of Development. *International the tropics. Agriculture, Ecosystems and Environment.* 82, 371-383, 1987

TOMICH, T.P., VAN NOORDWIJK, M., VOSTI, S., WHITCOVER, J. Agricultural development with rainforest conservation: methods for seeking Best Bet al., Alternatives to Slash-andBum, with applications to Brazil and Indonesia. *Agric. Econ.* 19, 159-174, 1998

UHL C, BUSCHBACHER R, AND SERRÃO EAS.. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *J Ecol* 76: 663–81, 1998

ARTIGO

ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL

AUTORES

I.Af Henry Mavisoy Muchavisoy

CV: Possui graduação em Ingeniería Agroforestal pela Universidad de Nariño (Colômbia, 2009). Mestrado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (Brasil, 2013). Tem experiência na área de avaliação de serviços ambientais atuando nas seguintes áreas: sistemas Agroflorestais, avaliação de serviços ambientais da polinização na cultura do cacau, instalação de redes de parcelas experimentais, etnobotânica e avaliação da capacidade de armazenamento de carbono em diferentes usos do solo em Centroamérica e na região Amazônica.

Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Agroecologia.
Cidade Universitária Paulo VI S/N, Tirirical
CEP 65000-000 - São Luis, MA - Brasil
e-mail: kmavisoy@agroforestal.udenar.edu.co

I,A Ernesto Gómez Cardozo

CV: Possui graduação pela Universidad Autonoma Gabriel René Moreno (Bolívia, 2004) e aperfeiçoamento em Preparação e gestão de projetos sociais pela Universidad Autonoma del Beni (2007) . Tem experiência na área de Agronomia.

Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Agroecologia.
Cidade Universitária Paulo VI S/N, Tirirical
CEP 65000-000 - Sao Luis, MA - Brasil
e-mail: egomezca@hotmail.com

Dr. Christoph Gehring

CV: Possui graduação em Geografía - Universität Heidelberg (1993), mestrado em Agronomía Tropical - Universität Göttingen (1997) e doutorado em Agronomia - Universität Bonn (2003). Desde 2004 é professor/pesquisador no Curso de Mestrado em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, pesquisador adjunto desde Junho de 2011. Tem experiência nas áreas de Agronomia e Ecologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Rizipiscicultura na Baixada Maranhense, mapeamento, contenção de cantos erosivos e recuperação de mata ciliar, efeitos ecológicos e agrônômicos da palmeira babaçu, carbono preto em áreas frequentemente queimadas, potencial do carvão fino na olericultura, emissão de gases efeito estufa, comparação de sistemas de uso/manejo da terra, e indicadores ecológicos.

Universidade Estadual do Maranhão
Unidade de Estudos de Agronomia, Curso de Mestrado Em Agroecologia.
Laboratório de Solos Tirirical
CEP 65054-970 - Sao Luis, MA - Brasil - Caixa-postal: 3004

Telefone: (98) 32769378
e-mail: christophgehring@yahoo.com.br

Ph.D. Guillaume Xavier Rousseau

CV: Bolsista de Produtividade da FAPEMA. Possui graduação em Biologia dos Organismos e das Populações - Université de Paris VI (Pierre et Marie Curie) (1997), mestrado em Biologia Vegetal - Université Laval (2000) e doutorado em Biologia Vegetal - Université Laval (2005). Tem experiência na área de Biologia do solo, com ênfase em Indicadores da saúde do solo, atuando principalmente nos seguintes temas: macrofauna, microbiologia, indicadores, sistemas agroflorestais, Amazônia, América Central.

Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-graduação em Agroecologia.
Cidade Universitária Paulo VI S/N, Tirirical
CEP 65000-000 - São Luís, MA - Brasil - Caixa-postal: 3004
Telefone: (98) 32769378
Fax: (98) 32311067
e-mail: guilirous@yahoo.ca

ESTOQUES DE CARBONO EM FLORESTAS, CAPOEIRAS E SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA AMAZONIA ORIENTAL

RESUMO

Esta pesquisa objetiva quantificar e comparar os estoques de carbono em diferentes usos do solo na Amazônia Oriental. Estimou-se o carbono da biomassa viva acima do solo, a necromassa, o solo, e em seu conjunto o carbono total em formações vegetais de floresta ombrófila densa, floresta de restinga, sistemas agroflorestais multiestratificados complexos, comerciais, quintais, capoeiras e pastagens. O carbono total em florestas ombrófilas ($164,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) e sistemas agroflorestais complexos ($161,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi significativamente maior em comparação com capoeiras enriquecidas ($71,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) e áreas de pastagens ($43,9 \text{ Mg ha}^{-1}$). Florestas de restinga, sistemas agroflorestais e capoeiras em estágios avançados de desenvolvimento tiveram estoques intermediários. Árvores de grande porte ($> 50 \text{ cm DAP}$) estocaram quantidades significativas de carbono da vegetação, em sistemas agroflorestais comerciais maduros estocaram 83 Mg ha^{-1} (89%), em sistemas agroflorestais complexos 78 Mg ha^{-1} (63%) e em florestas ombrófilas 47 Mg ha^{-1} (39%). Estoques de carbono do solo em pastagens se mostraram significativamente menores em comparação com todos os outros usos do solo avaliados. Sistemas agroflorestais apresentam alto potencial de armazenamento de carbono enquanto que a substituição de florestas para áreas de pastagens implica perdas drásticas em todos os componentes do estoque de carbono.

Palavras chaves: Arco desmatamento, biomassa, carbono do solo, estrutura da vegetação, mudança de uso da terra, multiestrata, necromassa, serviços ambientais.

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EM BOSQUES, BARBECHOS Y SISTEMAS AGROFORESTALES DE LA AMAZONIA ORIENTAL

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue cuantificar y comparar las reservas de carbono en diferentes usos del suelo de la Amazonía Oriental. Se estimó el carbono de la biomasa viva arriba del suelo, la necromasa, el suelo, y en su conjunto el carbono total en formaciones vegetales de bosques umbrófilos densos, bosques de restinga, sistemas agroforestales multiestratificados complejos, comerciales, huertos mixtos caseros, barbechos e áreas de pastoreo. El carbono total en bosques umbrófilos densos ($164,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) y en sistemas agroforestales complejos ($161,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) fue significativamente más alto en comparación con barbechos enriquecidos ($71,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) y áreas de pastoreo ($43,9 \text{ Mg ha}^{-1}$). Los bosques de restinga, sistemas agroforestales e barbechos maduros almacenaron cantidades intermedias. Árboles de grande porte ($> 50 \text{ cm DAP}$) almacenaron cantidades significativas de carbono de la vegetación, en sistemas comerciales maduros almacenaron 83 Mg ha^{-1} (89%), en sistemas agroforestales complejos 78 Mg ha^{-1} (63%), en bosques umbrófilos 47 Mg ha^{-1} (39%). Los estoques de carbono del suelo en áreas de pastoreo se mostró significativamente más bajo en comparación con los otros usos del suelo evaluados. Sistemas agroforestales presentan alto potencial de almacenamiento de carbono mientras que la sustitución de bosques para áreas de pastoreo implican pérdidas drásticas en todos los componentes de almacenamiento de carbono.

Palabras claves: Arco de deforestación, biomasa, carbono del suelo, estructura de la vegetación, cambios del uso del suelo, multiestrato, necromasa, servicios ambientales.

CARBON STOCKS IN FOREST, FALLOW AND AGROFORESTRY SYSTEMS FROM EASTERN AMAZONIA

ABSTRACT

This research aims to quantify and compare the carbon stocks in different land uses in the Eastern Amazon. Carbon was estimated in above ground biomass, necromass, soil and as a whole the total carbon in dense evergreen lowland, seasonally flooded forest (restinga), complex, commercial and home garden multiestrata agroforestry systems, fallows and pasture. Total carbon in dense evergreen lowland (164.0 Mg ha⁻¹) and complex agroforestry systems (161.6 Mg ha⁻¹) was significantly higher compared with enriched fallows (71.6 Mg ha⁻¹) and pasture areas (43.9 Mg ha⁻¹). Seasonally flooded forest, old agroforestry and fallow systems stored intermediate amounts. Large trees (> 50 cm DBH) stored significant amounts of carbon in vegetation, in mature commercial agroforestry systems this large trees stored 83 Mg ha⁻¹ (89%), in complex agroforestry systems 78 Mg ha⁻¹ (63%) and in dense evergreen lowland 47 Mg ha⁻¹ (39%). The soil carbon stocks pastures were significantly lower compared to all land uses evaluated. Agroforestry systems have high carbon storage potential while substitution of forests for pasture areas involves drastic losses in all components of carbon storage.

Keywords: arc of deforestation, biomass, soil carbon, vegetation structure, land use change, necromass, environmental services.

1. INTRODUÇÃO

Pelo menos 60% do território brasileiro é ocupado pela floresta úmida tropical amazônica, nesta região o crescimento populacional se a dado num ordem de 130% desde os anos 70's, atingindo perto de 17 milhões em 2005 (IBGE 2005). As taxas de crescimento exponencial dos assentamentos e associado às mudanças da cobertura do solo tem causado impactos preponderantes nos serviços ambientais como a perda da biodiversidade (Gardner et al. 2009), a redução do carbono estocado na biomassa viva acima do solo e a geração de novas emissões de CO₂ e outros GEE pela subsequente decomposição da biomassa (Laurance et al. 1998). No Maranhão, ao extremo oriental da Amazônia, 34% do estado encontra-se localizado no bioma amazônico sendo que mais de 75% da cobertura florestal original tem sido eliminada durante os últimos 50 anos, a maior densidade demográfica na Amazônia legal se apresenta no mesmo estado (Moura, et al. 2011).

Brasil contribui com 5% das emissões globais de CO₂, neste país em comparação com as tendências mundiais, as emissões de CO₂ são causadas principalmente pelas mudanças no uso da terra e florestas, em 2005 este setor representou 61% das emissões totais do país, 19% o setor agropecuário e 19 % o setor energético e industrial (Monozni et al. 2011). Em 2007 a área acumulada desmatada atingiu 697,123 km² o que representa 17,2% de toda a floresta Amazônica Brasileira (Araújo et al. 2011).

As florestas naturais, plantações florestais e sistemas agroflorestais SAF's são reconhecidos pelo alto potencial de estocar carbono na vegetação acima, embaixo do solo e no solo (Albrecht & Kandji 2003, Montagnini & Nair 2004) convertendo-se em importantes opções na redução das concentrações de CO₂ da atmosfera (Post & Kwon 2000). Neste contexto, são necessárias pesquisas que contribuam a escolher áreas prioritárias e prática adequadas de uso da terra, a fim de reduzir as emissões causadas pelo desmatamento e ao mesmo tempo em que possam prover de benefícios adicionais (Miles and Kapor, 2008) como a produção de alimentos e a conservação da biodiversidade.

A estimativa dos estoques de carbono acima e embaixo do solo em florestas e os usos do solo que a substituem permitem melhorar o entendimento dos efeitos do desmatamento sobre os fluxos de carbono (Carvalho et al. 2001, Baker et al. 2004). Um primeiro passo crítico para avaliar as emissões de carbono é a estimativa dos estoques de carbono em

diferentes compartimentos, principalmente na biomassa viva acima do solo, a necromassa e solo (IPCC 2007). O estudo de outros fatores como a idade dos sistemas, a estrutura da vegetação e as práticas de manejo podem ajudar a determinar a capacidade de estocagem de C (Albrecht & Kandji 2003).

Esta pesquisa compara os estoques de carbono no solo, a necromassa e a biomassa viva acima do solo num conjunto de usos da terra na Amazônia oriental: fragmentos florestais, capoeiras abandonadas e práticas de agricultura permanente desenvolvidas como meios de vida pelos produtores rurais na Amazônia Oriental como SAF's complexos e comerciais multiestratificados, SAF's, quintais, capoeiras enriquecidas e sistemas de pastagens com predominância da palmeira babaçú *Atalea speciosa* (Arecaceae), estuda também, como as características estruturais da vegetação dos sistemas avaliados influenciam na estocagem de carbono.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo realizou-se ao oeste e norte do Estado do Maranhão MA e ao este do Estado do Pará PA, Brasil no início do arco de desflorestamento na Amazônia Oriental, esta zona fisiográfica é caracterizada como Centro de Endemismo Belém, entre as coordenadas geográficas 00o 30' e 06o 00' de latitude Sul e 44o' 00' e 50o 00' de longitude W Gr (Almeida e Vieira, 2010). Esta zona se caracteriza por apresentar uma pronunciada estação seca (< 100 mm por mês) de Agosto até Novembro. A precipitação média anual é de 2000 e 3000 mm com 80% das quedas entre dezembro e julho. A temperatura média por dia flutua entre 24 e 26 oC ao longo do ano (Johnson, 2001). Os solos prevalecentes na área são Oxisols e Ultisols (USDA Soil Survey Staff, 1996., Cerri et al, 2000; latosolo amarelo e podzólico vermelho-amarelo, de acordo à classificação Brasileira (EMBRAPA, 1981)). A vegetação presente na zona é de floresta ombrófila densa (IBGE, 2004). No litoral Amazônico do Maranhão se encontram formações vegetais de Florestas de Restingas (Amaral et al, 2008, IBGE 2004). O Centro de Endemismo Belém possui 243.000 km², em 2004 o desmatamento nesta área alcançou 76% (Almeida e Vieira, 2010).

2.2 Esquema de amostragem

Realizou-se a caracterização de quatro sistemas de uso da terra distribuídos em 13 tipologias em 57 parcelas temporárias distribuídas em 7 núcleos geográficos (Figura 1, Tabela 1) Município de Tomé-Açú, PA e no Estado do Maranhão 2) Reserva Biológica de Gurupi e assentamentos limítrofes da reserva no Município de Itinga, 3) Ilha de Livramento no Município de Alcântara, 4) Ilha de São Luís, 5) Arari, 6) Anajatuba e 7) Morros. Devido à predominância da vegetação secundária e de áreas de pastagens assim como a presença de florestas remanescentes optou-se pela caracterização destes usos do solo nos núcleos 1, 2, 3 e 4. No núcleo 1 e nos outros núcleos se buscaram SAF's que representaram a diversidade de SAF's da região.

2.3 Usos do solo avaliados

Floresta: abrangem 5 fragmentos de floresta ombrófila densa (IBGE ,2004), 1 floresta intacta no município de Tomé-Açu PA e 4 com extração seletiva moderada e com diferentes idades após exploração distribuídas em Tomé-Açu, (1 parcela de ± 52 anos após extração) e na reserva biológica do Gurupi MA (3 parcelas de ± 18 anos após extração). No litoral Amazônico, no município de Alcântara MA, dois remanescentes de floresta de Restinga com extrativismo contínuo de baixa intensidade.

Sistemas agroflorestais complexos multiestratificados: Sistemas em avançado estado de desenvolvimento com características fisionômicas similares a uma floresta, mas manejada para a produção de um ou mais produtos de valor comercial, estes tipos de sistemas recebem manejo de baixa intensidade e são originados do sistema de corta com ou sem queima, a plantação deliberada de espécies úteis e o manejo de espécies da regeneração natural (Buck et al, 1998). Entre as espécies mais representativas se encontraram cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), Seringuera (*Hevea brasiliensis* Mart), açaí (*Euterpe oleracea*), andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), urucurana (*Sloanea* sp), manga (*Mangifera indica* L), envira (*Lecythis* sp), castanha do brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) e Ipê branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.).

Quintais: Este tipo de SAF multi-estrato representa uma das formas mais antigas de uso do solo no trópico úmido e se caracteriza pela combinação multi-histórica de vários tipos

de árvores e culturas, algumas vezes em associação com animais domésticos ao redor das propriedades rurais (Kumar & Narir, 2004). Entre as espécies mais comuns se destacaram o Açaí, cupuaçu, cacau, jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam), banana, bacaba, pará-pará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D, abacate (*Persea americana* Mill), manga, pupunha, caju, laranja, ipê amarelo, andiroba, castanha do brasil, cedro (*Cedrela odorata* L), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), fruta-pão (*Artocarpus altilis* (Parkinson).

Capoeiras enriquecidas: baseados no raleio seletivo da vegetação espontânea de capoeiras e a introdução de plantas úteis. Este sistema não está fortemente vinculado com a produção comercial, mas sim para a subsistência, encontrando-se alta diversidade de espécies com fins medicinais, produção de fruteiras nativas. As espécies mais representativas se encontraram o Açaí, banana, bacuri, embaúba (*Cecropia* sp), babaçu (*Attalea speciosa* Mar), cupuaçu, angelim (*Andira* sp), urucurana, caju, tucum (*Astrocaryum vulgare* Mart), manga, Ipê branco (*Tabebuia roseoalba* (Ridl.)) , ingá (*Inga* sp). andiroba, ipê amarelo, jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) samaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn).

Sistemas agroflorestais multiestratificados comerciais: Se caracterizam por apresentar arranjos definidos, é o mais comum entre os agricultores nipo-brasileiros do Município de Tomé-Açu PA. Surgiu da busca de alternativas de produção depois do colapso dos pimentais (*Piper nigrum* L.) atacados pelo fungo *Fusarium solani* f. sp. *Piperis* (Duarte e Albuquerque, 2005), que surgiu em 1957 e devastou os plantios a partir da década de 1970 (Homma, 2006). Todos os SAF caracterizados dentro de esta categoria eram de proprietários associados à Cooperativa Agrícola Mista de Tome- Açú CAMTA.

As espécies de maior importância foram Cacau (*Theobroma cacao* L), Banana (*Musa* spp), Açaí, Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), coco (*Cocos nucifera* L), castanha do brasil, gliricidia (*Gliricidia sepium* Jacq), freijó (*Cordia goeldiana* Huber), andiroba e Ipê amarel, pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), bacuri (*Platonia insignis* Mart), coco, manga, ipê amarelo (*Tabebuia aurea* Benth), bacaba (*Oenocarpus distichus* Mart), Caju (*Anacardium occidentale* L), laranja *Citrus sinensis* L. Osbeck e tapereba *Spondias mombin* L.

Fallow: corresponde a terras com vegetação sucessional secundária resultado do abandono de áreas dedicadas à agricultura e/ou pecuária.

Tanto os sistemas agroflorestais comerciais como as capoeiras foram classificados em três grupos de acordo a sua idade: velhos 17-23, intermédios 10-15 e jovens 1,5-7 anos após abandono em capoeiras e instalação em SAF's comerciais.

Pastagem: se caracterizaram três áreas com predominância de palmeira babaçu na região norte do Maranhão, este uso do solo é resultado da substituição de florestas primárias para a disponibilização em áreas de pastagens, no estado do Maranhão ocupam uma área de 100 mil km² constituindo-se como a característica ecológica mais importante de região (Porro, 2004) e uma parcela de pasto natural na ilha de Livramento com arbustos dispersos.

2.4 Medições dos estoques de carbono

Parcelas de amostragem: O objetivo foi medir o carbono da biomassa viva acima do solo, da necromassa e do solo na mesma parcela de amostragem. Instalaram-se parcelas temporárias circulares de 1963,5 m² (radio=25 m) subdivididas em quatro secções em sistemas com distribuição de vegetação heterogênea como quintais, capoeiras e florestas. Metodologia ajustada segundo estudos em diferentes usos da terra no trópico úmido, Pinto et al (2010) , Kirby & Potvin (2007), Brown (2002), Somarriba et al (2013) . Dados de caracterização da vegetação de uma floresta com exploração seletiva em 0,22 ha⁻¹ (7 parcelas de 32*10 m, metodologia detalhada em Muniz (2011)) foram facilitados pelo Programa de Pesquisa em Biodiversidade PPBio da Reserva Biológica do Gurupi. Em sistemas com arranjos definidos de SAF's comerciais instalaram-se aleatoriamente três subparcelas temporárias quadradas de 25*25 m (1875 m²), cada quadro era separado um do outro no mínimo por 15 m em cada lado (Embrapa, 2009).

Biomassa viva acima do solo BVAS: A BVAS foi agrupada em em: (1) Biomassa arbórea (árvores e lianas com DAP > 10 cm e palmas > de 2 m de altura do estipe) amostrada na totalidade da área das parcelas, (2) Biomassa arbustiva (arbustivos e lianas entre 1 e 10 cm DAP e palmeiras de regeneração < 2 m h), a amostragem deste tipo de vegetação foi realizada em 5 subparcelas de 5*5 m em florestas, capoeiras altas e quintais, em capoeiras baixas as sub

parcelas foram de 3*3 m. Estas subparcelas foram distribuídas no centro e em cada quadrante nas parcelas circulares. Nos sistemas agroflorestais comerciais a estimação deste componente realizou-se em 6 sub quadrantes de 3*5 m (2 sub parcelas em cada parcela de 25*25 m) distribuídos aleatoriamente. (3) biomassa herbácea (vegetação < 1 cm DAP), amostrado destrutivamente em 5 sub parcelas de 1 x 1 m.

A BVAS dos caules > 1 cm DAP se estimou mediante modelos alométricos mono e multiespecíficos (Tabela 2) desenvolvidos na região amazônica e no trópico úmido. A densidade específica (g cm⁻³) da madeira de espécies identificadas taxonomicamente em SAF's foi consultada numa base de dados global desenvolvida por Zanne et al (2009), quando não havia nenhuma informação, utilizou-se a densidade media de zonas periféricas de região amazônica de 0,583 g cm³ (Nogueira 2008). A altura das árvores em florestas foi determinada pelo modelo $Y=13.6\ln(DAP)-21,8$; $r^2=0,64$ desenvolvido para floretas ombrófilas densas da região (Keller, 2002), em SAF's esta variável estimou-se com clinómetro digital. Quando o DAP não representava a forma e a dimensão da planta optou-se por tomar o diâmetro a 30 cm da base do caule BD e posteriormente transformado a DAP baseados nas equações de Gehring et al (2008) (Tabela 2). Para a estimação da BAS herbácea tomou-se uma amostra representativa, previamente homogeneizada no campo e secada a 65 oC até atingir peso constante.

A biomassa estimada em cada estrato da vegetação em Mg/caule-estipe foi somada por parcela e extrapolada a Mg ha⁻¹. Para transformar a biomassa em carbono se utilizaram as seguintes concentrações 47% em palmeiras (Gehring et al., 2011) , 48, 5% em árvores e cipós (Higuchi, 2012, Hughes et al, 1999) e 43% na vegetação herbácea (Hughes et al, 1999).

Estoques de carbono na necromassa CN: Incluíram-se (1) serapilheira (folhas, galhos pequenos, flores e fruto < 2 cm diâmetro D), (2) madeira fina (ramas >2 e < 10 cm D) e (3) madeira morta grossa (árvores mortas em pé e no chão > 10 cm D) Somarriba et al (2013). A serapilheira e a madeira fina se coletaram por separado, mas no mesmo quadro de 1*1 m, se tomou uma amostra homogeneizada de 700g por área de estudo e por tipo de material, secado a 65 oC até atingir peso constante e calculada a porcentagem de matéria seca. A biomassa das árvores mortas no chão foi estimada pelo método de interceptação plana (Van Wagner, 1968), nas parcelas circulares utilizaram-se como transectos de interceptação as duas linhas N-S e E-O

de 100 m e em parcelas quadradas utilizou-se um transecto de 75 m em (25 m, cada quadro Figura 2). A densidade das peças interceptadas foram classificadas em sólidas, intermédias e decompostas (0,60; 0,42 e 0,23 g cm⁻³ respectivamente) segundo o IPCC (2007). Para a determinação de biomassa de árvores mortas em pé aplicou-se o modelo desenvolvido por Arevalo (2002) (Tabela 2). A concentração de carbono na serapilheira foi determinada pelo método de combustão úmida de Walkley-Black (1934), na madeira e grossa utilizou-se uma concentração de carbono de 50%.

Estoque de carbono orgânico do solo COS: Tomaram-se amostras do solo com cilindros metálicos de 3 cm de diâmetro interno e 10 cm de comprimento a duas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm (Kirby, K. R., & C. Potvin. 2007). 50% da massa de cada amostra foi seca a 105 oC por 48 horas e determinada a densidade aparente. Outro 50% se homogeneizou para formar uma amostra composta de 0-20 cm e determinar o carbono orgânico pelo método de combustão úmida de Walkley e Black (1934). O estoque de carbono em Mg C ha⁻¹ na camada de 0-20 cm foi calculado como: % C* (média de densidade aparente em g cm⁻³ de 0-20 cm)*(profundidade da camada em cm) (Kumar & Nair 2002).

Carbono do sistema: O estoque de carbono por unidade de área e uso do solo foi estimado como CTS = CBVAS + CN + CS (Mg C ha⁻¹). Onde CTS = carbono total do sistema, CBVAS: carbono da biomassa viva acima do solo, CN: carbono da necromassa e CS: carbono do solo.

2.5 Estrutura da vegetação

Para cada grupo de sistema calculou-se a distribuição do carbono da vegetação (Mg C ha⁻¹) e a densidade de caules (caules/ha⁻¹) separados em classes diamétricas de 1-10, 10-30, 30-50 e > 50 cm DAP.

2.6 Análises estatísticas

Os resultados de estoques de C (Mg ha⁻¹) e a densidade de caules (caules/ha⁻¹) foram transformados a Ln x e Ln x+1 quando necessário e submetidos ao teste de homogeneidade (Legendre, 2000) e de normalidade de Kolmogórov Smirnov. Devido a que o experimento se

caracterizou por apresentar um conjunto de dados desbalanceado, optou-se por uma análise de variância de máxima verossimilhança restringida REML (Restricted Maximum Likelihood (REML) Method) utilizando como efeito fixo o uso do solo com o software estatístico SYSTAT V. 12. Quando se detectaram diferenças significativas aplicou-se o teste e comparação de médias (α 0.05) LSD de Fisher com o software estatístico INFOSTAT (Di Renzo e Casanoves, 2011). Foram testadas regressões lineares e não lineares para determinar relações da biomassa viva e da necromassa ao carbono orgânico do solo assim como a idade dos sistemas versus o carbono acumulado acima do solo.

3. RESULTADOS

3.1 Carbono total dos sistemas

Quando todos os componentes foram considerados, o CT incrementou a partir das áreas de pastagens, sistemas de capoeiras e saf's ao longo do seu desenvolvimento até SAF's maduros multiestratificados, florestas de restinga e florestas ombrófilas densas.

Os fragmentos de floresta ombrófila com exploração seletiva da madeira e sistemas agroflorestais multiestratificados complexos estocaram quantidades significativamente maiores de C em comparação com os sistemas de capoeiras enriquecidas, áreas de pastagens e sistemas de capoeiras e SAF's comerciais intermédios e juvenis, estes dois últimos tipos de sistemas em idades avançadas estocaram quantidades similares aos fragmentos florestais, florestas de restinga, SAF's complexos, quintais agroflorestais, SAF's comerciais e capoeiras e velhas. O sistema de pastagem assim como o sistema de capoeira enriquecida atingiram estoques similares as capoeiras velhas (Figura 2).

A distribuição dos estoques nos usos do solo avaliados permitiu identificar a importância de C na biomassa viva acima do solo. Na floresta ombrófila densa, na floresta de restinga e em saf's complexos e comerciais multiestratificados velhos e intermédios assim como em pastagens com predominância de babaçu o C da biomassa arbórea estocou mais de 62% do estoque total estimado. Ao longo da sucessão vegetal nos sistemas de capoeiras, o carbono da vegetação arbórea atingiu até 50% do C total estimado.

O C necromassa de árvores mortas caídas no chão se tornou um estoque relevante em SAF's comerciais novos onde estocaram 29% do carbono do sistema, nos outros usos do solo este componente foi inferior a 8% do C total estimado. Tanto o C da serapilheira como o carbono da necromassa na madeira fina estocaram menos de 5% do C total estimado.

O carbono do solo na primeira camada de 0-20 cm de profundidade estocou 15% do carbono total estimado em florestas ombrófilas e atingiu até 41% no SAF comercial multiestratificado joven.

3.2 Carbono na biomassa viva

Quando foram somados todos os componentes da vegetação, comprovou-se que os fragmentos de floresta ombrófila estocaram quantidades significativamente maiores em comparação as áreas de pastagens com predominância de babaçu, capoeiras enriquecidas, capoeiras abandonadas e saf's em estágios intermédios e juvenis.

SAF's comerciais velhos, florestas de restinga e quintais agroflorestais atingem estoques similares às florestas ombrófilas. As áreas de pastagens com predominância de babaçu, florestas de restinga, quintais, capoeiras de diferentes idades e SAF's comerciais velhos e intermédios se agruparam com sistemas similares (Tabela 3). Com exceção do sistema de capoeiras medias e baixas onde 50% do carbono da vegetação se armazenou nas classes diamétricas 1-10 cm DAP, o carbono da vegetação arbórea > 10 cm DAP se constituiu no principal estoque de carbono da vegetação com mais de 66% do C em todos os sistemas.

A pesar que os estoques de C na biomassa viva em SAF's comerciais multiestratos, quintais e capoeiras altas não apresentaram diferencias significativas em relação à floresta ombrófila, estes estocaram 10, 27 e 52% menos. A eliminação da floresta ombrófila para a disponibilização de áreas de pastagens com predominância de babaçu implicaram a perda de 77 % do carbono da biomassa viva acima do solo.

3.3 Distribuição do carbono na vegetação

Este estudo provê uma análise da variação estrutural da vegetação no conjunto de usos do solo avaliados e determina como afeta na capacidade de armazenamento de carbono a través da biomassa viva acima do solo. A distribuição de caules em determinadas classes diamétricas explica as quantidades de carbono armazenado na vegetação; as densidades mais altas nas classes > 50 cm DAP foram observadas em sistemas agroflorestais comerciais adultos onde estocaram 83 Mg ha⁻¹ (89%), em sistemas agroflorestais complexos 78 Mg ha⁻¹ (63%) e em florestas ombrófilas 47 Mg ha⁻¹ (39%) do carbono armazenado em árvores > 10 cm DAP com 48, 15 e 3% do total de caules (Figura 3, Tabelas 4 e 5).

Em contraste, nos sistemas de quintais, capoeiras de diferentes idades, capoeiras enriquecidas, saf's comerciais intermédios e jovens os estoques de carbono se apresentaram concentrados na classe diamétrica de 10-30 cm DAP, com mais de 56% do carbono armazenado na vegetação > 10 cm DAP. A abundancia de caules na classe 10-30 cm DAP nesses sistemas foi superior a 83% do total de caules > 10 cm DAP (Tabela 4, figura 3

3.4 Carbono na biomassa

Em sistemas em avançado estado de desenvolvimento como em florestas ombrófilas e SAF's complexos multiestratificados a necromassa total foi significativamente mais alta em comparação com o sistema de capoeira enriquecida, quintal, saf comercial multiestratificado médio pastagens. Não se encontraram diferenças significativas nos estoques da necromassa grossa de árvores mortas em pé e caídas no chão. O estoque de C na necromassa fina foi significativamente mais alta em florestas ombrófilas e de restinga em comparação com sistemas de quintais, SAF comercial multiestrato médio e pastagens. Os estoques mais altos de C na serapilheira se encontraram na floresta de restinga, capoeiras baixas e médias em comparação com os sistemas de quintais, capoeira enriquecida, pastagens e saf's complexos (Tabela 3).

3.5 Carbono do solo

Sistema de pastagens com predominância de babaçu apresentou os estoques de C mais baixos em comparação com os outros tipos de uso do solo (Tabela 3). Encontrou-se que o estoque de carbono da necromassa na madeira fina esteve rápida e positivamente correlacionado com o C do solo ($p < 0,005$; $r^2 = 0,20$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Incertezas nas estimativas da biomassa

A densidade e a altura total das árvores são importantes parâmetros preditivos para melhorar as estimações de estoques de biomassa devido a que estas características variam entre espécies, tipo de floresta, idade e fertilidade do solo (Chave et al. 2005, Muller & Landau, 2004, Nogueira et al., 2008, ter Steege et al., 2006). Neste estudo se incorporaram, tanto a densidade como a altura em florestas ombrófilas e SAF's; vários estudos tem reportado que a inclusão destas variáveis na equação pantropical desenvolvida por Chave et al (2005) para florestas úmidas tropicais melhora as estimativas da biomassa (Baker et al., 2004, Gibbs et al., 2007, Nogueira et al., 2007, 2008, Vieira, 2008). Nesta pesquisa utilizaram-se modelos multiespecíficas desenvolvidos na Amazônia oriental para a estimacão da biomassa em capoeiras e áreas de pastagem com predominância da palmeira babaçu com um nível de precisão razoável.

Diversos autores sugerem 0,25 ha como tamanho mínimo da parcela e 5 ha na escala de paisagem em florestas tropicais (Clark & Clark 2000; Laurance et al. 1999, Keller et al. 2001). Nesta pesquisa foram utilizadas 5 parcelas individuais de 0,19 ha⁻¹ no mesmo tipo de formação vegetal em florestas ombrófilas, neste caso se observou o menor coeficiente de variação no CBAS para a vegetação >1 cm DAP (2,31%) indicando um sistema relativamente homogêneo e provendo um nível de precisão adequado (Keller et al. 2001). Nos outros tipos uso da terra devido a alta heterogeneidade o coeficiente de variação do CBAS variou entre 8 e 14% em capoeiras e em SAF's entre 15 e 28%.

4.2 Carbono total acima do solo CTAS

Os CTAS nas florestas, sistemas agroflorestais comerciais e capoeiras são similares aos reportados por outros autores na Amazônia Oriental. Segundo Gerwing (2002) e Lima et al. (2012) o CTAS (biomassa convertida a carbono utilizando um fator de 0,485 segundo Higuchi (2012)) em florestas ombrófilas intactas da Amazônia oriental podem variar entre 176,54 Mg ha⁻¹ e 209,90 Mg ha⁻¹, 21% (37,6 Mg ha⁻¹) e 33% (71,0 Mg ha⁻¹) mais em comparação com a média do CTAS (138,8 Mg ha⁻¹) em florestas com exploração seletiva

caracterizadas neste estudo. Estes resultados se assemelham a florestas com exploração seletiva e levemente queimadas (logged and lightly burned) ($135,31 \text{ Mg ha}^{-1}$) repostadas por Gerwing (2002) na Amazônia oriental. Outros estudos na Amazônia brasileira abrangem estoques de C em florestas intactas e intervindas entre $109,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $235,71 \text{ Mg ha}^{-1}$ incluindo florestas densas e abertas (Brown et al. 1995, Cumings et al. 2002, Fearnside et al. 1993, Nascimento & Laurance, 2001; Salesa et al. 2007).

Em este estudo, as capoeiras atingiram 47% ($66,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) do CTAS em relação as florestas num período de pousio entre 17-23 anos, resultados dentro do intervalo de pesquisas da Amazônia brasileira, onde capoeiras entre 2 e 35 anos após abandono conseguem estocar entre $0,5$ e $128,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Ducey et al 2009, Salimond & Brown 2000, Steininger 2000, Zarim et al. 2001). Denich et al (2000) reportou para capoeiras da Amazônia oriental com períodos de pousio entre 1 e 10 anos estoques no CTAS entre 3 e 40 Mg ha^{-1} , estoques inferiores em comparação com os resultados desta pesquisa com capoeiras jovens e intermédias entre 1,5 e 15 anos com $50,6$ e $50,8 \text{ Mg ha}^{-1}$.

A pesar de no apresentar diferencias significativas com capoeiras altas os SAF's comerciais multiestratificados entre 17 e 23 anos estocaram 87% do CTAS (121 Mg ha^{-1}) em relação as florestas desta pesquisa. Devido a alta heterogeneidade da idade dos sistemas, as características estruturais, as espécies presentes assim como as praticas de manejo adotado pelos produtores é difícil realizar comparações com outros estudos. Por em, o CTAS em SAF's multiestratos de Tomé-Açu estocaram o duplo em comparação com o estudo de Palm et al. 2009 quem demonstrou que no tropico úmido o CTAS em SAF's multiestratos pode variar entre 5 e 60 Mg ha^{-1} num período entre 20 e 25 anos.

Levando em consideração que tanto SAF's e capoeiras ao longo do seu desenvolvimento atingem estoques similares, as áreas permanentes de pastagens com predominância de babaçu apresentam os estoques mais baixos de CTAS significando as perda mais significativas se se compara com os estoques das florestas e SAF's complexos multiestratificados.

4.3 Estrutura e C da biomassa acima do solo

Diversos estudos têm discutido que a abundancia de árvores, especialmente as de maior porte (> 50 cm DAP), influenciam diretamente na quantidade dos estoques de C na biomassa viva CBV (Brown & Lugo, 1992; Brown et al. 1995; Nascimento et al, 2007,

Slik et al. 2013, Vieira et al. 2004). Tanto a abundancia de árvores > 10 cm (442 ha^{-1}) como a proporção da distribuição do CBV na classe diamétrica > 50 cm DAP (39%, 50 Mg C ha^{-1}) foram menores em comparação com as florestas de terra firme do Pará com estação seca relativamente prolongada com uma abundancia de árvores > 10 cm DAP entre 460 a 466 arvores ha^{-1} e $> 40\%$ do CBV estocado em árvores > 50 cm DAP (Vieira et al. 2004). Estes dados comparativos pode explicar a diminuição dos estoques de C na vegetação pela exploração madeireira e possivelmente a distribuição heterogênea das árvores de grande porte.

No litoral atlântico da Amazônia não tem sido reportados estudos de estrutura da vegetação em florestas de restinga, por em, os resultados desta pesquisa são contrastantes com florestas de restinga do litoral atlântico do sul do Brasil, segundo Alves (2010) o CBV da vegetação > 10 cm DAP pode variar entre 63 e $86,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, ligeiramente maior em comparação este estudo (60 Mg C ha^{-1}). A bundancia de caules > 10 cm varia entre 650 e 890 arvores ha^{-1} , quase duas vezes mais em comparação com este estudo ($387 \text{ arvores ha}^{-1}$), por em a distribuição proporcional da biomassa é similar, encontrando-se tanto em este estudo como no estudo de Alves (2010), mas de 60% do estoque de C da biomassa viva nas classes diamétricas < 30 cm DAP. Estes comparações revelam as variações estruturais das florestas de restinga como a diminuição CBV pelos distúrbios associados a exploração seletiva da madeira.

A abundancia de árvores de grande porte também se tornou relevante tanto em SAF's complexos de baixos insumos como em SAF's comerciais de alto planejamento. Em ambos casos o CVB das classes > 50 cm DAP atingiam mais de 63% do CBV. Estes resultados sugerem que a inclusão de árvores com potencial de crescimento > 30 cm DAP e sua distribuição dentro dos SAF podem ajudar a incrementar a capacidade de estocagem do CBV.

De forma geral, com exceção do sistema de pastagem com predominância de babaçu, observou-se que o CBV esta determinado pela abundância de árvores de grande porte > 30

em DAP, cujo adensamento é dado pelo manejo dos produtores o que diferencia às capoeiras em sucessão vegetal sem intervenção.

4.4 Perdas e recuperação do CTAS pelas ações antropogênicas

É conhecido amplamente que as mudanças do uso da terra de florestas tropicais para outros com menor cobertura resulta em perdas de carbono, especialmente na biomassa viva (Duguma et al. 2001, Pinto et al 2010, Smiley & Kroschel 2008, Wade et al. 2010). A presente pesquisa permite identificar o impacto na perda dos estoques de carbono devido às ações antropogênicas como a exploração seletiva da madeira em florestas ombrófilas e sua substituição em áreas permanentes de pastagens assim como o potencial de recuperação dos estoques realizado pelas capoeiras após abandono de atividades agrícolas e pecuárias e pelos sistemas agroflorestais desenvolvidos pelos produtores rurais da Amazônia Oriental.

As diminuições dos estoques de carbono em florestas com exploração seletiva podem estar associadas a fatores como a modificação da estrutura da vegetação dentro das florestas e a outros como aos efeitos de borda nos fragmentos florestais pesquisados. Segundo Muniz (2011) a área basal em florestas não perturbadas de floresta ombrófila densa da Amazônia Maranhense atingem $41,89 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ com árvores até de 199,5 cm DAP, nesta pesquisa evidenciou-se um declínio de 29% ($12,09 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) em comparação à floresta intacta.

Gerwing (2002) sugere que o período de recuperação após exploração moderada das florestas é de 6 anos quando atinge estoques de C e uma estrutura similar à florestas não perturbadas, contrastante com os resultados desta pesquisa, onde os fragmentos pesquisados contavam com mais de 18 anos após abandono de exploração mas com estoques ainda baixos em comparação à florestas primárias da região, contando um nível de intervenção mais alta e um período de recuperação ainda precário. Outros fatores como o colapso da biomassa devido aos elevados índices de mortalidade das árvores perto das bordas dos fragmentos florestais assim como o aumento da inflamabilidade podem influenciar diretamente nos estoques de carbono na biomassa acima do solo (Numata et al. 2011).

Práticas agroflorestais desenvolvidas pelos produtores rurais da Amazônia oriental apresentam uma ampla potencialidade de estocagem no CTAS. Sistemas de pequena escala ($< 5 \text{ ha}^{-1}$) como sistemas agroflorestais complexos multiestratificados caracterizados pela

aglomeração de árvores de grande porte atingiram estoques similares aos fragmentos de floresta ombrófila da Amazônia oriental. Este tipo de sistemas não tem sido reportado na zona de estudo, impossibilitando sua comparação.

Capoeira enriquecida se tornaram similares às áreas de pastagem com predominância de babaçu com baixo CTAS em comparação os SAF complexo multiestratificado. Na Amazônia oriental, em áreas de pastagens com predominância de plantas invasoras estocaram $6,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$ e $2,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em pastagens limpas sem nenhum tipo de cobertura (Costa et al. 2012), 74% ($20,1 \text{ Mg C ha}^{-1}$) e 92 % ($24,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$) menos do que o sistema com predominância de babaçu (27 Mg ha^{-1}), nos três cenários de transformação de floresta, implicam as maiores perdas de carbono da biomassa acima do solo em relação a floresta ombrófila.

Nesta pesquisa encontrou-se que as floresta estocaram 6% (11 Mg Cha^{-1}) do carbono em forma de necromassa comparável com estudos em florestas intactas de terra firme onde este componente pode variar entre $2,9 \text{ Mg Cha}^{-1}$ (Scott et al. 1992) e $42,8 \text{ Mg Cha}^{-1}$ (Summers 1998) atingindo até 20% dos estoques em florestas tropicais (Palace et al., 2008). Na Amazônia oriental, Gerwing (2002) reportou estoques de necromassa de $27,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$ em florestas intactas e 38 Mg C ha^{-1} em florestas com exploração seletiva moderada (convertidos a carbono utilizando um fator de 0,5 (IPCC 2007). Nesta pesquisa nas florestas com exploração seletiva e saf's complexos multiestratificados a necromassa estocou 8 e 7% enquanto que em saf's comerciais e em boques secundários jovens estocaram 35% e 25% dos estoques acima do solo diferenciando-se significativamente das áreas de pastagens. Estes resultados sugerem o efeito das práticas de manejo caracterizada pelo clareio de florestas e capoeiras para a disponibilização de áreas para uso agrícola ou pastagens onde tipicamente se encontram árvores caídas de lenta decomposição.

4.5 Carbono do solo

As mudanças do carbono do solo resultado da conversão de floresta para pastagens são altamente vareáveis com aumentos e decréscimos observados (Post & Known 2000; Guo & Guifford 2002, Osher et al. 2003). Na Amazônia em solos de pastagens originários de florestas tem mostrado perdas de C em alguns casos e ganhos em outros (Neill & Davinson 2000). Nesta pesquisa determinou-se que o carbono do solo está associado aos estoques de necromassa fina afetando positivamente ($p < 0,01 \text{ R}^2 0,20$) na estocagem de carbono do solo

na camada 0-20 cm de profundidade. Esta associação permite explicar as quedas significativas de C orgânico em sistemas de pastagens com babaçu predominante no estado do Maranhão em comparação com todos os outros usos do solo onde os estoques de carbono de necromassa fina foi significativamente maior. Os resultados sugerem a falta de manejo da pastagem em comparação aos resultados de Moraes et al. (1996) na Amazônia oriental onde o C estocado nos 30 cm de profundidade em pastagens bem manejadas atingem estoques entre 17-20% mais altos do que os estoques originais em florestas.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa permite concluir que tanto sistemas agroflorestais multiestratos complexos de baixos insumos como planejados comerciais baseados na introdução de árvores com potencial de crescimento > 50 cm DAP atingem estoques de C na biomassa viva e no solo similares aos fragmentos florestais da Amazônia oriental, apresentando-se como alternativas de agricultura de corta e queima, devido a que no mesmo período desenvolvimento, e a pesar de serem estatisticamente iguais, estocam quantidades maiores principalmente na biomassa viva aérea. Estes resultados sugerem também, que a instalação de SAF's como o abandono de áreas para recuperação a través de capoeiras implicam características de adicionalidade tanto no solo como na biomassa aérea em relação às áreas de pastagens. Ações antropogenias associadas a exploração seletiva da madeira e sua transformação para sistemas de uso da terra com menor cobertura florestal implicam evidentemente na perda de C acima do solo e no solo no caso de pastagens, sugerindo a importância de manter a floresta em pé como estratégia de redução de emissões de C assim como o desenho de sistemas com alto potencial de estocagem de carbono na mitigação do C atmosférico como os sistemas agroflorestais multiestratificados.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o apoio financeiro dos órgãos de fomento à pesquisa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES e a À Fundação de Amparo para o desenvolvimento científico e tecnológico do Maranhão FAPEMA, assim como as instituições que contribuíram científica e logisticamente à pesquisa: Coordenação de Pós-graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão EUMA, ao

Laboratório do Solo da UEMA, ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária do Maranhão INCRA-MA. Ao Programa e Pesquisa em Biodiversidade PPBIO, à Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu CAMPTA, a EMBRAPA da Amazônia Oriental, à Agência de Cooperação Brasil-Japão ABC , ao Laboratório de Manejo Florestal do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia INPA, ao Núcleo de pesquisas Ambientais NEPAM-UNICAMP. A Todos os estudantes voluntários do programa de Engenharia Agrônômica da UEMA que contribuíram no processo de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALBRECHT, A. & KANDJI, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), pp.15–27.

ALMEIDA, A., VIEIRA, I. (2010). Centro de endemismo belém: status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. *REU*, Sorocaba SP. V36 (3) 95–111.

ALVES, L. F., VIEIRA, S. A., SCARANELLO, M. A., CAMARGO, P. B., SANTOS, F. A. M., JOLY, C. A., & MARTINELLI, L. A. (2010). Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 260(5), 679–691. doi:10.1016/j.foreco.2010.05.023

AMARAL, D.D., PROST, M.T., BASTOS, M.N.C., COSTA-NETO, S.V. & SANTOS, J.U.M. 2008. Restingas do litoral amazônico, estados do Pará e Amapá, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi série Ciências Naturais* 3:35-67.

ARAÚJO, E.A., OLIVEIRA, K., KER, J.C., MENDOÇA, E., SILVA, E. (2011). Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*. 41(1), pp.103–114.

AREVALO, A. (2002). Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes usos da terra. Colombo: Embrapa Floresta, Documento 73.

ASNER G (2002). Estimating Canopy Structure in an Amazon Forest from Laser Range Finder and IKONOS Satellite Observations. *Biotropica* 34(4), 483–492.

BAKER, T.R., PHILLIPS, O.L., MALHI, Y., ALMEIDA, S., ARROYO, L., DI FIORE, A., ERWIN, T., KILLEEN, T.J., LAURANCE, S.G., LAURANCE, W.F., LEWIS, S.L., LLOYD, J., MONTEAGUDO, A., NEILL, D.A., PATINO, S., PITMAN, N.C.A., SILVA, N.M., MARTINEZ, R.V. (2004). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* 10, 545-562.

BOLFE, É. L., BATISTELLA, M., & FERREIRA, C. (2012). Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. V 47 (9), 1261–1269.

BROWN, I., MARTINELLI, L., THOMAS, W., MOREIRA., FERREIRA, C., VICTORIA, R.(1995). Uncertainty in the biomass of Amazonia forest: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 75, 175-189.

BROWN, J.K., ROUSSOPOULOS, P.J.1974. Eliminating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Sci.* 20, 350–356.

BROWN, S. (2002). Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. *Philosophical Transactions Royal Society. Lond. A* 360: 1669-1684.

BROWN, S., LUGO, A., (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazil Amazon. *Interciencia* 17, 8-18.

BUCK, L. E., LASSOIE, J. P., FERNANDES, E. C. M., & STARKWEATHER, A. W. (1998) *Agroforestry Sustainable Agricultural Systems*. Washington. DC.

CARVALHO, J.A.; COSTA, F.S.; VERAS, C.A.G.; SANDBERG, D.V.; ALVARADO, E.C.; GIELOW, R.; SERRA, A.M.; SANTOS, J.C., (2001) Biomass Fire Consumption and Carbon Release Rates of Rainforest-clearing Experiments Conducted in Northern Mato Grosso, Brazil, *J. Geophysical Research*, 106(D16), 17877-17887

CERRI,C et al (2012). Carbon Cycling in the Amazon. *Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle*.

CHAVE, J., ANDALO, C., BROWN, S., et al .(2005). Tree Allometry and improve estimation of carbono stocks and balance in tropical forest. *Ecosystem Ecology*. 145, 87-99

CHAVE, J., CONDIT, R., AGUILAR, S., HERNANDEZ, A., LAO, S., & PEREZ, R. (2004). Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 359(1443), 409–20. doi:10.1098/rstb.2003.1425

CLARK, D. B. & CLARK, D. A. 2000. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. *Forest Ecol. Mngmt* 137, 185–198.

COSTA SILVA ET AL. 2012. Biomass in diferent types of land use in the Brazil´s arc of deforestation. *Forest Ecology and Management*.278: 101-109.

COSTA SILVA et al. 2012. Biomass in different types of land use in the Brazil´s arc of deforestation. *Forest Ecology and Management* 278, 101-109

CUMMINGS, D., KAUFFMAN, J., PERRY, D., HUGHES, R.(2002). Aboveground biomass and structure of rainforest in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 163, 293-307

DENICH, M., VLEK,P., SÁ,T., VIELHAUER., K, LÜCKE.(2000). A Research Concept for the Development of Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture in the Eastern Amazon Region, (i), pp.689–697. In, German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg, September, Session 6: Concepts and Paradigms for Management of Ecosystem Resources.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DUARTE, M., ALBUQUERQUE, F. (2005). Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental, Sistemas de Produção, 01. ISSN 1809-4325 Versão Eletrônica. Abaliable in: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimenteiradoReino/paginas/doencas.htm>

DUCEY, M. J., ZARIN, D. J., VASCONCELOS, S. S., & ARAÚJO, M. M. (2009). Biomass equations for forest regrowth in the eastern Amazon using randomized branch sampling, 39(2), 349–360.

DUGUMA, B., GOCKOWSKI, J., BAKALA, J., 2001. Smallholder cacao (*Theobroma cacao*, Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: challenges and opportunities. *Agrofor. Syst.* 51, 177–188.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (1981). Mapa de solos de Brasil. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, Brazil.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (2009). Mapa de solos de Brasil. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, Brazil.

FEARNSIDE, P., GUIMARÃES, W. (1996). Carbon uptake by secondary forest in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80 (1), 35-46.

FEARNSIDE, P.M., (1993). Deforestation in the Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. *Ambio* 22, 537-545

FEARNSIDE.,P; LEAL., J., FERNANDES.,F.(1993). Rainforest burning and the global budget: biomass combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*. 98, 16733-16743

GARDNER T A, BARLOW J, CHAZDON R, EWERS R, HARVEY C A, PERES C A AND SODHI N S. (2009). Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. *Ecological . Letters*. 12 561–82.

GEHRING, C., PARK, S., DENICH, M. (2004). Liana allometric biomass equation for Amazonian primary and secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 195, 69-83.

GEHRING, C., PARK, S., DENICH, M. (2008). Close relationship between diameters at 30cm height and at breast height (DBH). *Acta Amazonica*. Manaus, v. 38, n. 1.

GEHRING, C., ZELARAYAN, M., ALMEIDA, R.(2011). Allometry of the babassu palm growing on a slash-and-burn agroecosystem of the eastern periphery of Amazonia. *Acta Amazonica*. 41 (1) 127-134.

GERWING, J.(2002). Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 157(1-3), pp.131–141.

GIBBS, H.K., BROWN, S., NILESAND, J.O., FOLEY, J.A.,2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.* 2, 1–13.

GUO LB, GIFFORD RM (2002). Soil C stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8:345–360

HAIRIAH K, SITOMPUL SM, VAN NOORDWIJK M, PALM C (2001) Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor.

HIGUCHI, F., FILHO, A., SILVA, R., LIMA, A., SANTOS, J., HIGUCHI, N. (2012). A floresta e mudanças climáticas, in. (Eds GASPARETO, M., HIGUCHI, N. 2 ED). A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J.A. (1994). Biomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In.: Seminário Emissão e Sequestro de CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Porto Alegre. Anais. CVRD, Rio de Janeiro. p.125-153.

HOMMA, A.K.O (2006). Organização da produção e comercialização de produtos agropecuários: o caso da colônia agrícola nipo-brasileira de Tomé-Açu, Pará In: VILCAHUAMÁN, L.J.M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A.M.B. Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: perspectivas, análise e tendências. Colombo: Embrapa Florestas. p. 51-77.

HUGHES, R.F., KAUFFMAN, J.B., JARAMILLO, V.J., (1999). Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of Mexico. *Ecology*. 80, 1892–1907.

IBGE (2005) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available at <http://www.ibge.com.br>

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004). Mapa de Biomas do Brasil e o Mapa de Vegetação do Brasil (Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (available from www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm)

IPCC. (2007). Climate change. Mitigation of climate change. Intergovernmental Panel of climate change. Special report. Cambridge University Press, Cambridge, USA.

JOHNSON, C., VIEIRA, I., ZARIN, J., FRIZANO, J., JOHNSON, A. (2001). Carbon and nutrient storage in primary and secondary forest in eastern Amazônia. *Forest Ecology and Management*. 147 (2001) 245-252.

KATO, O.R. 2009. Projeto dendê: Sistemas agroflorestais na agricultura familiar. (Oilpalm Project: Agroforestry systems in smallholder agriculture). Embrapa Eastern Amazonia.

KELLER, M., PALACE, M. & HURTT, G. 2001 Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil; examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecol. Mngmt* 154, 371–382.

KETTERINGS, Q. M., COE, R., VAN NOORDWIJK, M., AMBAGAU, Y., & PALM, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1-3), 199–209. doi:10.1016/S0378-1127(00)00460-6

KIRBY, K. R., & POTVIN, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246(2-3), 208–221. doi:10.1016/j.foreco.2007.03.072

KIRBY, K., POTVIN, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246, 208-221

KUMAR, M., NAIR, R. (2002). Carbon sequestration Potential of Agroforestry Systems, Opportunities and Challenges. *Advances in Agroforestry N 8*.

LAURANCE W, LAURANCE S AND DELAMONICA P. (1998). Tropical forest fragmentation and greenhouse gas emissions. *Ecology Management*. 110 173–80.

LEGENDRE, P. (2000). Homogénéité des variances – Guide. Département de sciences biologiques, Université de Montréal. 10 p.

MONTAGNINI, F., AND NAIR, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 61–62, 281–295

MONZONI, M., OSORIO G., OLIVEIRA., B. (2011). Propostas empresariais de políticas públicas para uma economia de baixo carbono no brasil, processos industriais e tratamento de resíduos. Fundação Getulio Vargas. Disponível em: www.fgt/ces/epc

MORAES JFL, VOLKOFF B, CERRI CC et al (1996) Soil properties under Amazon forest change due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma* 70:63–81

MOURA W, FUKUDA J, LISBOA E, GOMES B, OLIVEIRA S, SANTOS M, DE CARVALHO A, MARTINS M. 2011. A reserva Biológica do Gurupi como instrumento de conservação da natureza na Amazônia Oriental. Pp. 25-31 in Martins M and Oliveira T (eds). *Amazônia Maranhense, diversidade e conservação*. Museu Paraense Emílio Goledi.

MULLER-LANDAU, H.C., 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. *Biotropica* 36, 20–32.

MUNIZ, F.(2011). Efeito do Manejo florestal sobre a composição florística e fitossociológica da floresta Amazônica Maranhense, em: Amazônia Maranhense, diversidade e conservação. (Eds. Martins., Merlucia; Oliveira., Oliveira), Belém, Brasil.

NASCIMENTO, H.E.M., LAURANCE, W.F., (2001). Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*. 68, 311–321.

NASCIMENTO, M., BARBOSA,R., VILLELA, D.,PROCOR, J.(2007). Above-ground biomass changes over an 11 years period in Amazon monodominant forests and two other lowland forest. *Plant Ecology* 192, 181-191.

NEILL C, DAVIDSON EA (2000) Soil carbon accumulation or loss following deforestation for pasture in the Brazilian Amazon. In: Lal R, Kimble JM, Stewart BA (eds) *Global climate change and tropical ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, pp 197–211

NELSON, B., Mesquita, R., Pereira, L., et al. (1999). Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*. 117, 149-167

NOGUEIRA E.2008. Densidade de madeira e alometria de árvores em florestas do “ arco do desmatamento ”: implicações para biomassa e emissão de carbono a partir de densidade de mudanças de uso da terra na amazônia brasileira. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais Renováveis. Manaus, Amazonas-Brasil. Doctoral Thesis. Pp 151.

NOGUEIRA, E.M., FEARNSIDE, P.M., NELSON, B.W., FRANC, A, M.B. 2007. Wood density in forests of Brazil’s ‘arc of deforestation’: implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecol. Manag.* 248, 119–135

NOGUEIRA, E.M., FEARNSIDE, P.M., NELSON, B.W., FRANC, A,M.B., OLIVEIRA, A.C.A., 2008. Tree height in Brazil’s ‘arc of deforestation’: shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecol. Manag.* 255, 2963–2972

NUMATA, I., COCHRANE, M. A, SOUZA JR, C. M., & SALES, M. H. (2011). Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6(4), 044003. doi:10.1088/1748-9326/6/4/044003

OSHER, L., MATSON, P., Amundson R. (2003). Effect af land use change on soil carbon in Hawaii. *Biochemistry* 65: 213-232.

PALACE, M., M. KELLER, H. SILVA, (2008). Necromass production: studies in undisturbed and logged Amazon forests. *Ecological Applications*: 18, 873–884.

PINTO, L., AZUETO, M., MENDOZA, J., JIMENEZ, G., JOUNG, B. (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78(1), pp.39–51.

PORRO, R., MESQUITA, B.A., SANTOS, I. (2004). Expansão e trajetória da pecuária na Amazônia : vales dos rios Mearim e Pindaré-Maralhão. Brasília, DF. Ed. Universidade de Brasília. 183 p. Embrapa Acre.

POST WM, KWON KC (2000) Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6:317–327

POST, W.M., KWON, K.C., (2000). Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global Change Biology*. 6, 317–327.

SALESA, M., SOUZA, J., KYRIAKIDIS, P., ROBERT, D., VIDAL, E. (2007). Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: a case study for Roraima, Brazil. *Ecological Modelling* 205, 221-230.

SALIMON, C., BROWN, F., (2000). Secondary forest in western Amazonia: significant sinks for carbon release from deforestation?. *Interciencia* 25 (4), 198-202.

SCOTT, D.A., PROCTOR, J., THOMPSON, J., (1992). Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *Journal of Ecology* 80, 705-717.

SCOTT, S. (1994). Allometric equations for estimating the above-ground biomass of cacao stands in the eastern Amazon basin. *Agrotropica*. 6 (3) 65-72.

SLIK, J. W. F., PAOLI, G., MCGUIRE, K., AMARAL, I., BARROSO, J., BASTIAN, M., BLANC, L., ET AL. (2013). Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, n/a–n/a. doi:10.1111/geb.12092

SMILEY, G.L., KROSCHER, J., 2008. Temporal change in carbon stocks of cocoa – *Gliricidia* agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Agrofor. Syst.* 73, 219–231.

SOMARRIBA, E., CERDA, R., OROZCO, L., CIFUENTES, M., DÁVILA, H., ESPIN, T., MAVISOY, H., et al. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 173, 46–57.

STATSOFT, INC. (2007). STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.

STEININGER, M.(2000). Secondary forest structure and biomass following short and extended land-use in central and southern Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 16, 689–708.

SUMMERS, P. M., (1998). Estoque, decomposicao, e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra firme, na Amazonia Central. Pages 118. *Ciencias de Florestas Tropicais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus, Brazil.

TER STEEGE, H., PITMAN, N.C.A., PHILLIPS, O.L., CHAVE, J., SABATIER, D., DUQUE, A., MOLINO, J., PRÉVOST, M., SPICHIGER, R., CASTELLANOS, H., HILDEBRAND, P., VÁSQUEZ, R., 2006. Continental-scale patterns of canopytree composition and function across Amazonia. *Nature* 443, 444–447.

USDA. Soil Survey Staff. (1996). *Keys to soil Taxonomy*. United States , Department of Agriculture Natural Resources Conservation service, Washington. DC.

VAN, W.(1968). The line-intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*. 14, 20–26.

VIEIRA S, et al. 2008. Estimation of biomass and carbon stocks : the case of the Atlantic Forest, *Biotaneotropica*. V8(2), 21–29.

VIEIRA, S., CAMARGO, P., SELHORST, D., SILVA, R., HUTYRA, L., CHAMBERS, J., BROWN, I., HIGUSHI, N., SANTOS, J., WOFYSY, S., TRUMBORE, S., MARTINELLI, L. (2004). Forest structure and carbono dynamics in Amazonian tropical forest. *Oecologia* 40, 468-479.

WADE, A.S.I., ASASE, A., HADLEY, P., MASON, J., OFORI-FRIMPONG, K., PREECE, D., SPRING, N., NORRIS, K., 2010. Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 324–334.

WALKLEY, A & I BLACK. (1934). An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 34: 29-38.

WANDELLI E.2008. Estoques de biomassa em diferentes cenários de uso da terra ao norte de Manaus, Amazônia Central Brasileira. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,

Universidade Federal do Amazonas, Programa Integrado de Pós-graduação em biologia Tropical e recursos Naturais. Doctoral Thesis. Pp 162.

ZANNE, A.E., LOPEZ-GONZALEZ, G., COOMES, D.A., ILIC, J., JANSEN, S., LEWIS, S.L., MILLER, R.B., SWENSON, N.G., WIEMANN, M.C., AND CHAVE, J. (2009). Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>

ZARIN, D., DUCEY, M., TUCKER, J., SALAS, W. (2001). Potential biomass accumulation in Amazonian Regrowth Forest. *Ecosystems* 4, 658-668.

TABELAS E FIGURAS

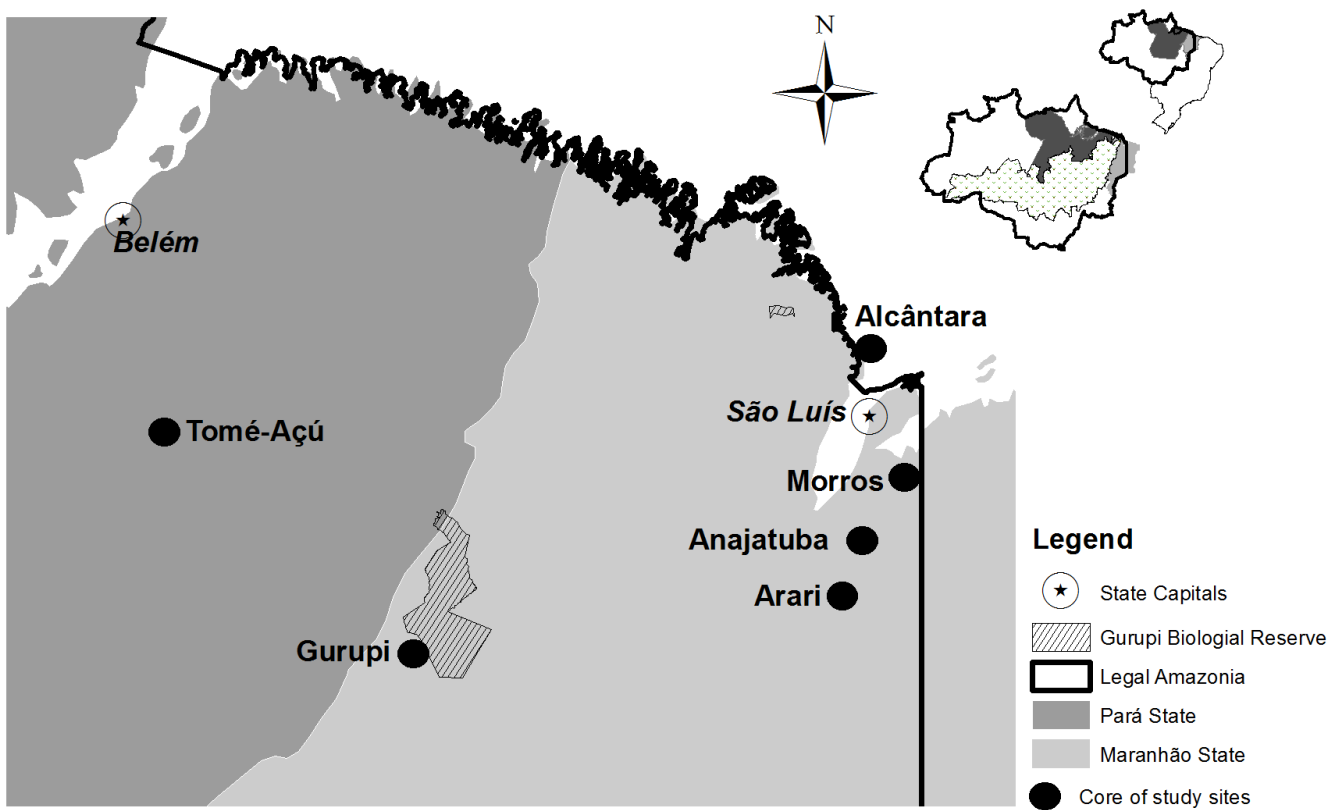


Figura 3. Localização da área de estudo

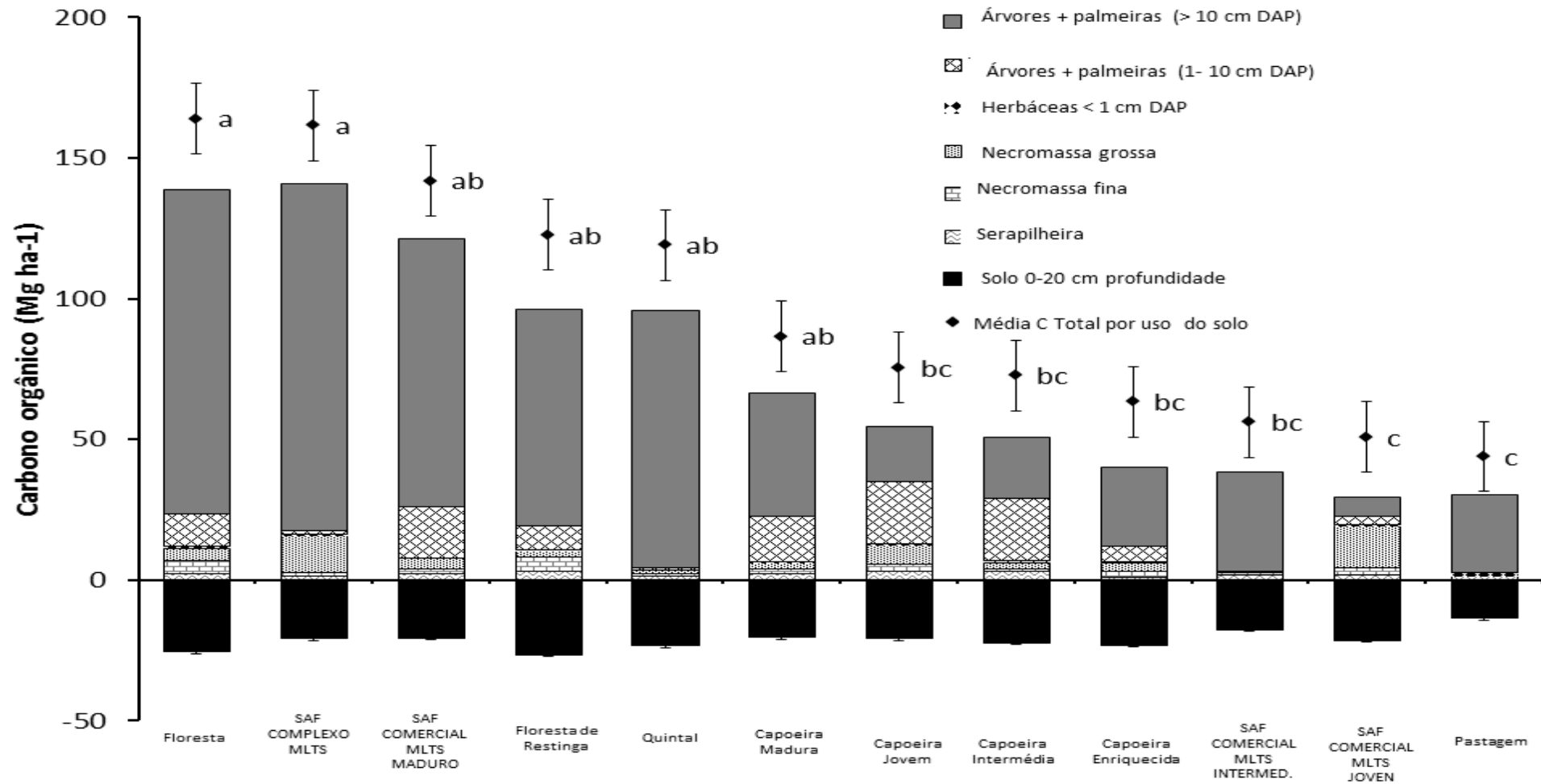
Tabela 1. Distribuição dos usos do solo avaliados na Amazônia Oriental (n= 57)

SISTEMA DE USO	TIPO DE SISTEMA	LOCAL	n	
Florestas (7)	Floresta Ombrófila densa	Tomé-Açu	2	
		Gurupi	3	
	Restinga	Ilha de Livramento	2	
Agroflorestas (28)	SAF complexos multiestratificados	Tomé-Açu	1	
		Arari	1	
		Anajatuba	1	
	SAF multiestratificados comerciais maduros	Tomé-Açu	3	
		SAF multiestratificados comerciais intermedios	Tomé-Açu	3
		SAF multiestratificados comerciais jovens	Tomé-Açu	3
	Quintasi	Tomé-Açu	2	
		Arari	5	
		Anajatuba	2	
	capoeiras Enriquecidas	Arari	2	
Anajatuba		1		
Morros		4		
Fallow (18)	Capoeiras maduras	Tomé-Açu	2	
		Ilha de São Luis	1	
	Capoeiras intermédias	Tomé-Açu	2	
		Gurupi	1	
	Capoeiras jóvenes	Iha de Livramento	2	
		Iha de São Luis	2	
		Gurupi	5	
Pastagens (4)	Pastagen natural	Iha de Livramento	1	
		Arari	1	
	Pastagens com predominancia de Babaçu	Anajatuba	1	
		Morros	1	

Tabela 2. Modelos alométricos utilizados para converter as medidas da vegetação e madeira morta em biomassa acima do solo

Species or plant type Above Ground Biomass	Land use system	Equation or formula	Source
Trees \geq 5 cm DHB	Restinga Forest	$B = di \cdot \exp(-1,499 + 2,148 \ln(\text{DBH}) + 0,207(\ln(\text{DBH}))^2 - 0,0281(\ln(\text{DBH}))^3)$	Chave et al. (2005)
	Moist dense forest and Agroforestry Systems	$B = \exp(-2,977 + \ln(di \cdot \text{DHB}^2 \cdot H))$	Chave et al. (2005)
Saplings 1-5 cm DHB	Forest and Agroforestry Systems	$B = \text{EXP}\{-1,7689 + 2,3770 \cdot \ln(\text{DHB})\}$	Nascimento et al (2001)
Saplings > 1 cm DHB	Secondary Forest	$B = 0,18598 \cdot \text{DBH}^{2,3155}$	Ducey et al (2009)
Liana 0.1-13.8 cm DHB	Forest and secondary forest	$\ln(B) = -7,114 + 2,2276 \ln(\text{BD})$	Gehring et al. (2004)
Cecropia sp 5.1-38.2 cm DHB	Secondary Forest	$\ln(B) = -2,5118 + 2,4257 \ln(\text{DHB})$	Nelson et al. (1998)
Palms > 2 m h	All uses	$B = -95,1 + 49,68(H)$	Gehring et al (2011)
Cocoa	Agroforestry Systems	$\ln(B) = -1,81 + 2,13 \ln(\text{D50 cm})$	Scott (1994)
Standing dead trees, > 5 cm DHB	All uses	$B = 0,1184 \text{ DHB}^{2,53} \cdot 0,04$	Arevalo (2002)
Musacea	All uses	$B = 0,0303 \text{ DHB}^{2,1345}$	Hairah et al (2001)
Downed woody debris > 10 cm DHB	All uses	$\text{dwd class } [\pi^2 \sum (d^2) / 8L]$	Brown et al (1974)
Prediction DBH from BD lianas	Secondary Forest	$\text{DHB} = 0,689 + (-0,014) \cdot \text{BD}^2 + 1,198 \cdot \text{BD}$	Gehring et al (2008)
Prediction DBH from BD trees	Secondary Forest	$\text{DHB} = (-1,038 - 0,045) \cdot (\text{BD})^2 + 1,416 \cdot \text{BD}$	Gehring et al (2008)

B: biomass (Kg); Ln: natural logarithm; DBH = diameter at breast height (cm); BD = basal diameter (diameter at 30 cm above ground level; cm); di = species specific wood density value (g cm⁻³); dwd class = wood density of downed wood debris class (g cm⁻³); L = transect length (cm)



Letras diferentes entre barras significam diferenças significativas entre sistemas de uso do solo (LSD Fisher, $p < 0,05$).

Figura 4. . Carbono total em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental

Tabela 3. Carbono estocado por compartimentos em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental

	Floresta	SAF Complexos Multiestratificados	SAF Comerciais Multiestratificados maduros	Floresta Restinga	Quintais	Capoeira Madura	Capoeira Média	Capoeira Joven	Capoeira Enriquecida	SAF Comerciais Intermédio	SAF Comerciais Multiestratificados Joven	Pastagem
Estoques acima do solo												
Tree + liana + palms (≥ 10 cm DHB)	115.2 \pm 6.1 ab	123.4 \pm 53.7 ab	95.1 \pm 69.9 abc	76.7 \pm 4.7 abcd	91.5 \pm 24.4 abc	43.6 \pm 11.2 abcde	21.3 \pm 6.1 def ef	cd bcd ef	ef bcde \pm 13.2 cdef	35.6 \pm 18.4 abcdef	6.7 \pm 2.2 f	27.5 \pm 9.5 bcdef
Tree + liana + palms ($1 < 10$ cm DHB)	11.6 \pm 3.3 a	1.1 \pm cd de	18.4 \pm 13.0 ab	8.6 \pm 2.8 ab	0.7 \pm 0.3 d	16.2 \pm 1.7 a	22.5 \pm 5.5 a	21.9 \pm 4.0 a	5.8 \pm 2.3 bc	0.0 \pm 0.0 d	3.1 \pm 1.6 bcd	0.2 \pm 0.2 d
Herbáceas (< 1 cm DHB)	0.5 \pm 0.0 abc	0.6 \pm 0.2 abc	0.0 \pm 0.0 c	0.7 \pm 0.4 abc	0.1 \pm 0.0 c	0.8 \pm 0.1 ab	0.6 \pm 0.2 ab	0.6 \pm 0.1 abc	0.4 \pm 0.1 bc	0.0 \pm 0.0 c	0.3 \pm 0.1 bc	1.3 \pm 0.7 a
Total C Biomassa viva acima do solo ($Mg\ ha^{-1}$)	127.3 \pm 6.2 a	125.1 \pm 54.0 ab	113.5 \pm 66.0 abc	85.9 \pm 8.0 abc	92.2 \pm 24.5 abc	60.5 \pm 11.8 abc	44.4 \pm 4.8 bc	43.3 \pm 7.3 c	42.4 \pm 12.9 cd	35.6 \pm 18.4 cd	10.2 \pm 3.1 d	28.9 \pm 9.1 cd
Necromassa grossa	4.6 \pm 1.5 a	13.1 \pm 5.2 a	3.9 \pm 3.1 a	2.0 \pm 1.9 a	1.4 \pm 0.7 a	2.1 \pm 1.5 a	2.0 \pm 1.0 a	6.7 \pm 2.8 a	3.1 \pm 1.8 a	0.4 \pm 0.4 a	14.9 \pm 14.9 a	0.1 \pm 0.1 a
Necromassa fina	4.4 \pm 1.0 a	1.1 \pm 0.3 bc	1.6 \pm 0.5 abc	5.0 \pm 2.7 a	0.9 \pm 0.2 c	1.7 \pm 0.1 abc	1.2 \pm 0.4 bc	2.4 \pm 0.5 ab	1.9 \pm 0.4 bc	0.5 \pm 0.3 cd	2.5 \pm 1.9 ab	0.0 \pm 0.0 d
Serrapilheira	2.6 \pm 0.4 ab	1.7 \pm 0.9 bc	2.6 \pm 0.2 ab	3.4 \pm 0.2 a	1.6 \pm 0.2 bc	2.3 \pm 0.5 abc	3.2 \pm 0.5 a	3.5 \pm 0.4 a	1.3 \pm 0.2 c	2.2 \pm 0.9 abc	2.0 \pm 0.6 abc	1.5 \pm 0.6 bc
Total C necromassa acima do solo ($Mg\ ha^{-1}$)	11.6 \pm 0.7 ab	16.0 \pm 5.0 a	8.1 \pm 3.2 abcd	10.4 \pm 0.9 abcd	3.8 \pm 0.6 de	6.1 \pm 1.6 cd	6.4 \pm 1.7 abcd	12.7 \pm 3.4 abcd	6.4 \pm 2.0 bcd	3.1 \pm 0.6 de	19.4 \pm 13.8 abc	1.6 \pm 0.6 e
Total C acima do solo ($Mg\ ha^{-1}$)	138.9 \pm 6.3 ab	141.1 \pm 50.5 a	121.6 \pm 69.1 abc	96.3 \pm 7.0 abc	96.0 \pm 24.2 abc	66.6 \pm 10.9 abcd	50.8 \pm 5.3 bcd	56.0 \pm 8.0 bcd	48.7 \pm 14.5 cd	38.8 \pm 18.6 cd	29.6 \pm 12.4 d	30.5 \pm 9.4 cd
Solo 0-20 cm profundidade ($Mg\ ha^{-1}$)	25.1 \pm 1.6 a	20.6 \pm 4.8 a	20.3 \pm 1.6 a	26.3 \pm 1.9 a	23.0 \pm 1.3 a	20.0 \pm 3.9 a	22.0 \pm 1.9 a	20.5 \pm 1.8 a	22.9 \pm 2.7 a	17.4 \pm 3.0 ab	21.2 \pm 1.7 a	13.4 \pm 1.3 b
Total C estimado por sistema de uso ($Mg\ ha^{-1}$)	164.0 \pm 7.3 a	161.6 \pm 55.0 a	141.9 \pm 68.0 ab	122.6 \pm 9.0 ab	119.0 \pm 23.8 ab	86.6 \pm 14.6 abc	72.8 \pm 6.1 bc	76.5 \pm 8.6 bc	71.6 \pm 15.0 bc	56.2 \pm 15.6 bc	50.7 \pm 14.2 c	43.9 \pm 8.5 c

Tabela 4. Abundancia de árvores em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental

Abundancia (Árvore ha^{-1}) entre classes diamétricas	Floresta	SAF Complexos Multiestratificados	SAF Comerciais Multiestratificados maduros	Floresta Restinga	Quintais	Capoeira Madura	Capoeira Média	Capoeira Joven	Capoeira Enriquecida	SAF Comerciais Intermédio	SAF Comerciais Multiestratificados Joven	Pastagem
1 < 10 cm DAP	9525 \pm 1962 a	960 \pm 282 a	1948 \pm 451 a	4350 \pm 250 a	373 \pm 203 a	14063 \pm 6483 a	8525 \pm 1518 a	15229 \pm 3321 a	2320 \pm 866 a	1667 \pm 849 a	4074 \pm 2156 a	0 \pm 0 a
10 < 30 cm DAP	357 \pm 73 a	105 \pm 62 abc	22 \pm 17 c	351 \pm 97 a	149 \pm 46 abc	470 \pm 202 a	236 \pm 70 a	295 \pm 63 a	121 \pm 29 ab	60 \pm 45 abc	36 \pm 17 bc	28 \pm 18 c
30 < 50 cm DAP	69 \pm 10 a	56 \pm 23 ab	14 \pm 8 abcd	33 \pm 18 abc	18 \pm 5 abc	3 \pm 2 de	4 \pm 4 de	8 \pm 7 A	20 \pm 11 cde	11 \pm 6 bcde	0 \pm 0 e	38 \pm 20 abc
50 < 130 cm DAP	16 \pm 3 ab	29 \pm 17 a	33 \pm 24 a	3 \pm 3 bc	7 \pm 3 bc	2 \pm 2 c	0 \pm 0 c	1 \pm 1 c	4 \pm 2 bc	2 \pm 2 c	0 \pm 0 c	0 \pm 0 c

Letras diferentes entre colunas significam diferencias significativas entre sistemas de uso do solo (LSD Fisher, $p < 0,05$).

Tabela 5 Distribuição do C em árvores > 10 cm DAP em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental

Carbono orgânico (Mg ha ⁻¹) entre classes diamétricas	Floresta	SAF Complexos Multiestratificados		SAF Comerciais Multiestratificados maduros		Floresta Restinga	Quintais	Capoeira Madura		Capoeira Joven	Capoeira Enriquecida	SAF Comerciais Multiestratificados		SAF Comerciais Multiestratificados	Pastagem
10 < 30 cm DAP	34.9 ± 6.5 ab	22.4 ± 12.3 abcd	7.1 ± 2.2 cd	20.8 ± 6.0 abc	74.1 ± 25.7 a	20.7 ± 8.0 abc	13.0 ± 4.4 cd	13.5 ± 3.8 bcd	19.9 ± 7.4 abc	32.6 ± 19.9 abc	2.9 ± 2.4 d	12.5 ± 6.3 bcd			
30 < 50 cm DAP	38.0 ± 5.8 a	22.6 ± 9.8 ab	7.0 ± 4.3 bcde	22.2 ± 14.8 abc	4.3 ± 1.1 cde	1.2 ± 0.7 def	1.0 ± 1.0 ef	3.6 ± 2.9 def	9.3 ± 5.2 cde	2.3 ± 1.2 def	0.0 ± 0.0 f	13.9 ± 7.0 bcd			
50 < 130 cm DAP	47.1 ± 12.4 ab	78.1 ± 39.8 a	83.4 ± 72.9 a	17.4 ± 17.4 abc	12.9 ± 5.5 bc	12.0 ± 12.0 bc	0.0 ± 0.0 c	2.1 ± 1.5 c	6.4 ± 4.5 c	0.8 ± 0.8 c	0.0 ± 0.0 c	0.0 ± 0.0 c			

Letras diferentes entre colunas significam diferencas significativas entre sistemas de uso do solo (LSD Fisher, $p < 0,05$).

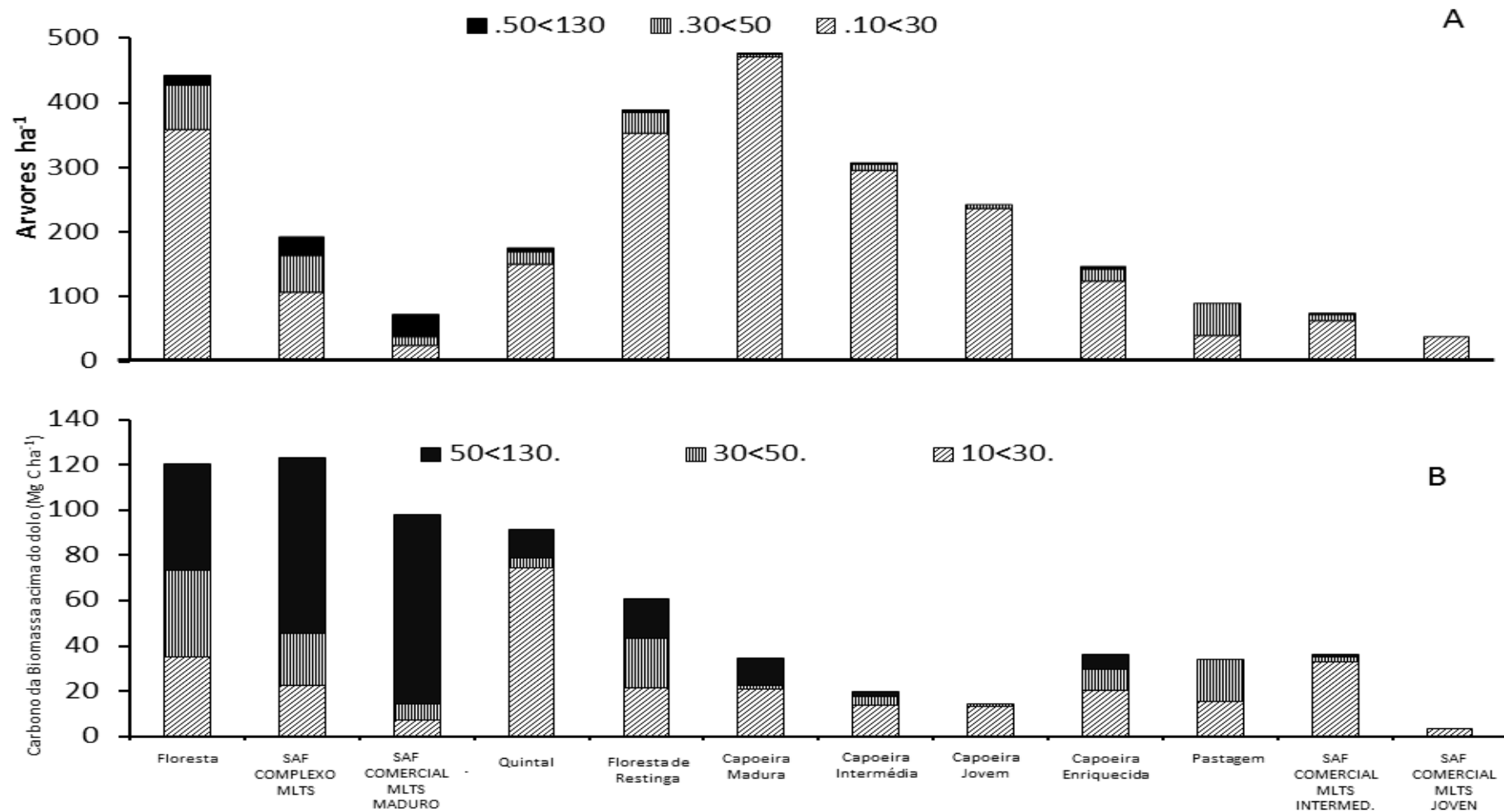


Figura 5. Distribuição de (A) número de árvores (ha^{-1}) e (B) carbono na biomassa viva acima do solo (Mg C ha^{-1}) em tamanhos diamétricos (DAP) em florestas, capoeiras e sistemas agroflorestais da Amazônia Oriental