

USP



ESALQ

Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas

in Native Tree Species Plantations for Restora-

*Jeanicolau Simone de Lacerda
Hilton Thadeu Zarate do Couto
Marcia Makiko Hirota
Natália Pasishnyk
Jefferson Lordelo Polizel*

ABSTRACT

APRESENTAÇÃO

Sumário

1. Introdução 2
2. Objetivo 13
3. Material e métodos 13
4. Resultados e Discussões 23
5. Conclusões 39
6. Bibliografia 40



METRVM, n.5/agosto/2009

METRVM (ISSN 1519-5058) é uma publicação on-line do Laboratório de Métodos Quantitativos do Depto. de Ciências Florestais, ESALQ, Universidade de São Paulo. Seu objetivo é disponibilizar documentos de caráter técnico produzidos pelo laboratório na área de mensuração, biometria e bioestatística florestal.

METRVM é produzido utilizando sistema T_EX & L^AT_EX sob o sistema operacional Linux.

<http://cmq.esalq.usp.br/wiki/doku.php?id=publico:metrvm:start>

1 1. Introdução

O aquecimento global causado, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral), atividades agrícolas, a degradação dos ambientes terrestres, vem provocando mudanças climáticas no planeta. Os desmatamentos para fins agrícolas, a urbanização e as construções de estradas, ferrovias, represas, mineração a céu aberto, são as principais causas da degradação dos ambientes terrestres (Dias e Griffith, 1998).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que reúne mais de dois mil cientistas de diversos países, essas mudanças podem levar ao derretimento parcial ou até mesmo total das calotas polares, provocando o aumento do nível médio dos mares e alterações na circulação oceânica. Este fenômeno é consequência da intensificação do chamado “efeito estufa”, causada pela emissão em excesso principalmente do CO₂ na atmosfera. A remoção e fixação do carbono da atmosfera na biosfera terrestre é uma das opções que vem sendo propostas para compensar a emissão deste gás.

Em países tropicais, historicamente a floresta vem sendo substituída pelas culturas agrícolas e pastagens. Esta situação pode mudar se serviços adicionais forem considerados, principalmente o seqüestro de carbono. Pagamentos por tal serviço, estipulados nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, podem ser um incentivo aos proprietários de terras nos países em desenvolvimento para a recomposição e/ou não supressão das florestas.

A Mata Atlântica é o bioma que em sido afetado de forma que é considerado um dos mais ameaçados do mundo. Levantamentos recentes da cobertura da vegetação nativa do estado de São Paulo (Kronka et al, 2005) mostram que restam apenas 12 % da área ocupada pela vegetação nativa original, sendo que menos de 5% são efetivamente cobertas com florestas nativas com baixo grau de perturbação antrópica. Além dos benefícios da conservação e restauração das florestas ciliares para a melhoria da quantidade e qualidade da água produzida em pequenas bacias hidrográficas, outra função que acrescenta valor a estes ecossistemas é a remoção ou seqüestro de gases do efeito estufa, em especial o CO₂ oriundo da queima de combustíveis fósseis, da atmosfera, que contribui para a mitigação dos efeitos do aquecimento global.

Assim, a avaliação dos estoques de carbono e também das mudanças nestes reservatórios torna-se necessária. Sabe-se que o cálculo da biomassa em uma floresta é um instrumento essencial ao conhecimento dos seus produtos e também tornou-se relevante à questões ligadas às mudanças climáticas. Por exemplo, o papel das florestas tropicais nos ciclos biogeoquímicos, especialmente o do carbono e a sua relação ao efeito estufa, tem aumentado o interesse em estimativas da biomassa nestas florestas. A biomassa fornece estimativas nos reservatórios florestais de carbono, pois aproximadamente 50% dela é carbono.

Os valores encontrados na literatura sobre fixação de carbono na forma de CO₂-equivalente são variáveis. O próprio IPCC recomenda que seja desenvolvida para cada situação

uma metodologia específica o que confere credibilidade para o projeto. Para florestas tropicais nas Américas o IPCC (2006) apresenta valores de 60 a 400 Mg.ha⁻¹, o que corresponde de 103,4 a 689,3 Mg.ha⁻¹ de CO₂-equivalente. Bufo (2008) mostra que o uso de uma equação desenvolvida especificamente para uma determinada situação apresenta uma diferença de mais de 100% na estimativa de biomassa e carbono em florestas restauradas com essências nativas de alta diversidade quando comparada com uma equação geral.

1. REVISÃO DA LITERATURA

A mudança climática é uma das verdadeiras conseqüências globais dos nossos tempos, e as florestas desempenham um papel importante nisto (Brown, 1997). A cobertura florestal mundial é de aproximadamente 4 bilhões de hectares cobrindo em torno de 30 % da superfície terrestre. Este patrimônio natural sempre foi essencial à humanidade e ao lado de sua função de produção, sobretudo do material madeira, as florestas têm um papel ecológico essencial na manutenção da biodiversidade, na purificação do ar e das águas filtrando a atmosfera de todos os tipos de impurezas. Também os solos recobertos por uma vegetação permanente são protegidos da erosão, o que evita a perda de grande parte de sua fertilidade. A estabilidade do clima à pequena e grande escala depende da presença e do funcionamento adequado dos ecossistemas florestais, sobretudo no contexto atual de aquecimento global.

Contudo, uma perda de 0,2 % por ano de cobertura florestal mundial foi medida entre 1990 e 2005. Estas mudanças na cobertura, uso e manejo das florestas produzem alterações nos fluxos dos principais gases envolvidos no efeito: CO₂, N₂O e CH₄ (Figura 1). Os fluxos de CO₂ entre a atmosfera e os ecossistemas são primariamente controlados pela fixação através da fotossíntese e liberação via respiração, decomposição e combustão de matéria orgânica (IPCC, 2006).

O debate sobre o impacto dos gases do efeito estufa na atmosfera e seu papel na elevação das temperaturas globais culminou na terceira sessão da Conferência Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), 1997, em Kyoto, Japão. Uma das maiores realizações desta conferência foi a assinatura do Protocolo de Kyoto, clamando aos países a busca de formas de redução dos gases de efeito estufa na atmosfera e a adoção de mecanismos de desenvolvimento limpos (MDL). No caso do dióxido de carbono, a redução das taxas poderia ser atingida através de dois principais processos: (1) redução das emissões antrópicas de CO₂ e (2) criação e/ou aumento das reservas de C na biosfera. Nota-se que, em ambos os casos, a estimativa da magnitude destas fontes emissoras e seqüestradoras de dióxido de carbono é dependente de estimativas de biomassa florestal (Brown, 1997).

Segundo o IPCC, a estimativa dos gases do efeito estufa no setor da agricultura, floresta e outros usos da terra (LULUCF), pode ser feita de duas maneiras: com a troca líquida dos estoques de C ao longo do tempo (usada na maioria dos casos) ou pela medida direta dos fluxos para e da atmosfera (usado para estimativa de emissões outras que a de CO₂ e algumas remoções de remoções de CO₂). O uso das trocas nos estoques de C para estimativas de emissões e retiradas de CO₂ é baseada no fato de que as trocas no

C dos ecossistemas são predominantemente através do fluxo entre o CO_2 da superfície terrestre e da atmosfera. Dentro de cada categoria de uso do solo, as estimativas de mudanças no estoque de C, emissão/remoção podem envolver os cinco reservatórios de carbono, definidos na tabela 1.

Segundo Brown (1997) a quantidade de biomassa numa floresta é resultado da diferença entre produção através da fotossíntese e consumo pela respiração e processos de colheita, representando um parâmetro muito útil ao acesso a informações sobre as mudanças na estrutura da floresta.

Apesar desta relevância, a biomassa é um dos aspectos menos conhecidos dos ecossistemas, especialmente os florestais, tendo em vista as dificuldades na obtenção de dados de campo (Moreira-Burger e Delitti, 1999). Atualmente, as estimativas de biomassa tornaram-se ainda mais urgentes devido à sua contribuição aos estudos de mudanças globais, já que constitui um parâmetro indispensável para estimativas de alterações de reservatórios de carbono na vegetação, pois aproximadamente 50 % desta é carbono (Brown, 1997 e Moreira-Burger e Delitti, 1999).

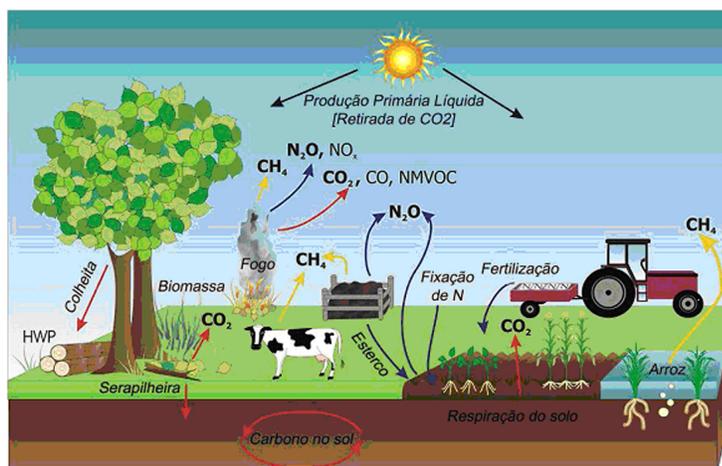


Figura 1: Emissão e remoção dos principais gases do efeito estufa em ecossistemas manejados (Adaptado de IPCC, 2006). A fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/desnitrificação, fermentação e combustão são processos que envolvem transformações de carbono e nitrogênio, guiadas por processos biológicos e físicos. Onde “HWP” = madeira.

Atualmente, as áreas de florestas secundárias e plantações nos trópicos excedem a área de florestas maduras (Lugo and Brown, 1990). Com o desenvolvimento econômico nos países tropicais, o uso do solo muda e áreas degradadas são abandonadas. Algumas dessas áreas são reflorestadas tanto pela sucessão natural como pela sucessão assistida e estabelecimento de plantações, a conversão de pastagens abandonadas em florestas secundárias e plantações tem sido proposta, nos trópicos, como um meio para aumentar os níveis de sequestro de carbono (Silver et al, 2004).

Segundo o IPCC (2006), áreas convertidas em florestas – por regeneração natural ou plantio - podem ser classificadas baseando-se no domínio climático, zonas ecológicas e nas classes de cobertura. O estoque de carbono varia de acordo com o clima, bioma, tipo de floresta, mix de espécies, práticas de manejo, etc. Para algumas categorias de uso do solo e métodos de estimativas, as mudanças no estoque de C devem ser baseadas nos três reservatórios agregados: biomassa, matéria orgânica morta e solos (IPCC, 2006, Tabela 1). Circunstâncias nacionais podem requerer modificações nas definições aqui introduzidas.

Os reflorestamentos com essências nativas são reconhecidos pelas Nações Unidas (UNFCCC – Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas) como meios de remoção dos gases do efeito estufa da atmosfera e enquadrados no programa Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Quioto. Algumas metodologias já estão aprovadas, sendo que a metodologia AR-AM0010, aprovada pela Junta Executiva do MDL da UNFCCC na 36^a Reunião, prevê o reflorestamento com essências nativas de alta diversidade em áreas de reserva e proteção ambiental. São vários os procedimentos a serem considerados para que um projeto seja validado para receber créditos de carbono e poder ser comercializado no mercado internacional. Além dos conceitos de elegibilidade da terra, adicionalidade, permanência, aplicabilidade, é importante na fase inicial do projeto conhecer a taxa de remoção dos gases do efeito estufa pelas florestas plantadas com essências nativas.

No Brasil, é crescente a área de reflorestamentos de nativas com objetivo principal de cumprimento ao Código Florestal Brasileiro (Lei federal n°4771, de 1965), que institui as áreas de preservação permanente (APP) e a reserva legal (RL). Devido ao elevado custo de implantação e manutenção desta atividade, pagamentos por serviços que envolvam os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), do Protocolo de Quioto, podem ser um incentivo aos proprietários de países em desenvolvimento para a conversão de pastagens em florestas (Olschewski, 2005).

No estado de São Paulo, onde a cobertura vegetal foi reduzida drasticamente a 13 % (que corresponde a 3.457.301 ha) do território original (Kronka et al, 2005) (Figura 3), o plantio de essências nativas para recuperação de áreas degradadas tem recebido grande atenção. Recentemente, foi instituído o Projeto Estratégico Mata Ciliar pela Resolução SMA - 42, de 26 de setembro de 2007, que prevê a ampliação de 14 para 20% da cobertura vegetal do estado e têm como um de seus objetivos “a fixação de carbono visando apoiar os esforços de mitigação do aquecimento global” (Art 1°, inciso IV). Também a recente Resolução SMA – 8 de 7 de março de 2007, em seus artigos 12 e 13 detalha procedimentos para elaboração de projetos de recuperação de áreas degradadas assim como visa estimular o desenvolvimento científico e de extensão relacionado à tal atividade.

Assim como o setor público, o setor privado deverá contribuir ao aumento da cobertura vegetal em cumprimento ao Código Florestal Brasileiro (Lei federal n°4.771, de 1965). Destaque deve ser dado ao terceiro setor, que por meio de parcerias vêm contribuindo expressivamente na recuperação e recomposição de áreas degradadas, sobretudo nos domínios da Mata Atlântica especialmente em áreas de preservação permanente e reservas legais.

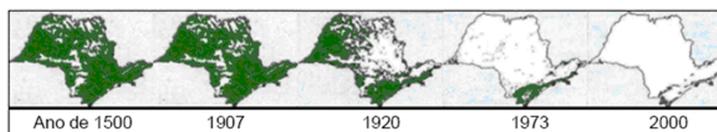


Figura 2: Evolução do desmatamento do estado de São Paulo (Victor, 1979 em Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2007) coloca em evidência a necessidade de recuperação de áreas degradadas e conseqüente potencial na estocagem de carbono.

Tabela 1: Definição dos cinco reservatórios de carbono (IPCC, 2006).

Definições dos reservatórios de carbono		
Reservatório		Descrição
Biomassa	Biomassa acima do solo	Toda biomassa da vegetação viva, arborea ou herbácea, acima do solo incluindo caule, tocos, galhos, casca, sementes, folhagem. Nota: Em inventários, é possível excluir algum componente que contribua pouco se baseado em metodologias consistentes.
	Biomassa abaixo do solo	Toda biomassa de raízes vivas. Raízes finas com menos de (sugerido) 2mm de diâmetro são frequentemente excluídas pois não podem ser distinguidas empiricamente da matéria orgânica do solo ou serapilheira.
Matéria orgânica morta	Madeira morta	Inclui toda a biomassa de madeira morta não considerada na serapilheira, que não estejam em pé ou no solo. Madeira morta inclui aquela deitada na superfície, raízes mortas e tocos, maiores ou iguais a 10 cm de diâmetro (ou diâmetro específico para país).
	Serapilheira	Inclui toda a biomassa morta com tamanho maior do que o limite para matéria orgânica do solo (sugere-se 2 mm) e menor do que um diâmetro mínimo escolhido para madeira morta (10 cm), em vários estágios de decomposição acima ou abaixo do solo. Raízes finas vivas acima do solo mineral ou solo orgânico (com menos do que o diâmetro mínimo escolhido para biomassa abaixo do solo) são incluídas em serapilheira quando não podem ser distinguidas do solo empiricamente.
Solos	Matéria orgânica do solo	Inclui carbono orgânico em solos minerais até uma profundidade específica escolhida pelo país a aplicada consistentemente através do tempo. Raízes finas vivas e mortas que são menores do que o diâmetro mínimo limite (sugere-se 2 mm) e matéria orgânica morta no solo, estão incluídas em matéria orgânica do solo quando não podem ser distinguidas empiricamente. O padrão para profundidade do solo é 30 cm.

ESTIMATIVAS DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO E CARBONO

Estimativas sobre o fluxo de carbono através de mudanças no uso da terra nos trópicos são derivadas de modelos em que os resultados dependem, em parte, da estimativa de

biomassa nas florestas (Brown e Lugo, 1992). O estudo de metodologias para estimar a biomassa de florestas tropicais tem sido objetivo de diversos trabalhos. As florestas tropicais representam grandes estoques de carbono, embora sua contribuição quantitativa ainda esteja sob estudos (Chave et al, 2005). Devido à grande biodiversidade das florestas tropicais, equações específicas para espécies não podem ser utilizadas, como na zona temperada, e sim equações mistas.

Um bom método para quantificar as reserva de carbono na biomassa consiste em inferir mudanças em parcelas permanentes em florestas. Modelos de regressão são usados para converter os dados do inventário em estimativas da biomassa acima do solo.

De acordo com Brown e Lugo (1992), dois aspectos sobre a biomassa das florestas são críticos no que se refere a modelos de fluxo terrestre de carbono nas florestas tropicais. O primeiro diz respeito a biomassa total que inclui a biomassa acima do solo e biomassa viva abaixo do solo, além daquela morta. A quantidade de biomassa em uma floresta determina o potencial de estocagem de carbono visto que 1Mg de biomassa equivale a 0.5 Mg de carbono que poderia ser liberado na atmosfera devido a mudanças no uso da terra. O segundo aspecto considera a resposta de todos estes elementos a retirada da floresta e regeneração e como eles devem estar representados em um modelo. A estrutura do modelo determina (1) qual proporção de biomassa é imediatamente oxidada e qual é decomposta em maior intervalo de tempo e (2) a velocidade de acumulação durante o crescimento. Ainda segundo Brown e Lugo (1992), a maior parte das pesquisas relativas à estimativa de biomassa tem focado no componente 'árvore' da floresta, pois este representa a maior fração da biomassa total, suas respostas aos processos de retirada e crescimento (regeneração) estão razoavelmente bem compreendidos para os propósitos dos modelos e ainda, os inventários florestais geralmente dão informações apenas para este componente.

Também segundo Brown (1997), a FAO considera que a estimativa da biomassa aérea (tronco, galhada, casca e folhas) representa a maior fração de biomassa da floresta e não apresenta muitas dificuldades logísticas para sua estimativa. A FAO propõe as seguintes regressões de acordo com o tipo de floresta:

- Florestas de zonas climáticas secas (dry)

$$BA_{est} = 10\{-0,535 + \log_{10}(AB)\}$$

- Florestas de zonas climáticas úmidas (moist)

$$BA_{est} = \exp\{-2,134 + 2,530\ln(D)\}$$

- Florestas de zonas climáticas muito úmidas (wet)

$$BA_{est} = 21,297 - 6,953(D) + 0,740 (D^2)$$

Onde: BA = Biomassa aérea estimada em kg, AB = área basal em cm² e D = diâmetro a altura do peito em cm.

Brown (1997) recomenda que, sempre que possível, devem ser desenvolvidas equações locais de biomassa, ou ao menos, que algumas árvores sejam abatidas para testar se a equação utilizada adéqua-se. Silver et al (2004), tendo estudado o seqüestro de carbono e a dinâmica da comunidade vegetal em pastagens convertidas em florestas em Porto Rico, utilizaram a equação indicada pela FAO para zonas climáticas muito úmidas. Neste estudo, concluíram que o seqüestro de C é significativo não só até os 20 anos após a conversão de pasto em floresta (fase considerada a de maior crescimento), mas até o 33º ano é também bastante significativa, assim como pelo solo em baixo de uma floresta convertida já madura. Hirotuka et al (2005) também utilizando relações alométricas, mostraram em estudo na Indonésia o potencial das florestas plantadas em exercer funções como a de reservatório terrestre de C se comparadas com florestas primárias em regiões favoráveis.

Chave et. al. (2005), depois de analisarem 27 modelos realizados em estudos nos trópicos (2410 árvores abatidas no total, de 20 °N a 12 °S), concluíram que os mais importantes preditores da biomassa acima do solo são, em ordem decrescente, diâmetro do tronco, densidade básica, peso total e tipo de floresta (úmida, seca, etc.). Chave et. al. (2005) descreveram então dois principais tipos de equações: aquelas que consideram DAP, altura total e densidade básica e aquelas que desconsideram a altura total. Cada tipo de modelo possui seis versões particulares e os melhores modelos obtidos segundo o tipo de floresta foram:

- Florestas de zonas climáticas secas (dry)

$$BA_{est} = 0,112 x (\rho D^2 H) 0,916$$

$$BA_{est} = \rho x \exp(-0,667 + 1,784 \ln(D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3)$$

- Florestas de zonas climáticas úmidas (moist)

$$BA_{est} = 0,0509 x \rho D^2 H$$

$$BA_{est} = \rho x \exp(-1,499 + 2,1481 \ln(D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3)$$

- Florestas de zonas climáticas muito úmidas (wet)

$$BA_{est} = 0,0776 x (\rho D^2 H) 0,940$$

$$BA_{est} = \rho x \exp(-1,239 + 1,980 \ln(D) + 0,270 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3)$$

- Mangues (moist mangrove forest stand)

$$BA_{est} = 0,0509 \times \rho D^2 H$$

$$BA_{est} = \rho \times \exp(-1,349 + 1,980 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$$

Onde: BA_{est} = Biomassa aérea estimada, D = diâmetro à altura do peito (cm), H = altura (m) e ρ = densidade básica (g/cm³).

Brown et al (1989) e Brown e Lugo (1992) descreveram metodologias de estimativa de biomassa acima do solo empregada nos trópicos e no presente trabalho será utilizada a mais completa, ou seja, aquela que considera a altura, diâmetro e densidade básica a partir de dados coletados:

- **Fator de expansão volumétrico (VEF):** Para expandir volumes, usa-se

$$VEF = V_{10} / V_{25}$$

Onde: V_{10} é volume das árvores com $DAP \leq 10$ cm e V_{25} , volume das árvores com $DAP \leq 25$ cm.

- **Densidade básica (DB):** Foi considerado o valor médio de 0,69 g.cm⁻³.
- **Fator de expansão da biomassa (BEF):**

$$BEF = \text{Exp}(5,7671 - 1,5309 * (\text{Ln}(\text{QSD}))), \text{ para } DQF < 30 \text{ cm}$$

$$BEF = 1,75, \text{ para } DQF \geq 30 \text{ cm}$$

Onde QSD = Diâmetro quadrado da floresta:

$$DQF = \sqrt{\{(\sum D^2)/n\}} = \sqrt{\{(AB/n) * (4/\pi)\}}$$

Onde: D = Diâmetro à altura do peito (1,30 cm) e AB = área basal (cm²).

- **Biomassa total acima do solo (BTAS):** é obtida em Mg.ha⁻¹:

$$BTAS = \text{Volume (m}^3\text{ha}^{-1}) * VEF * DB * BEF$$

Onde: Volume (m³ha⁻¹) = volume calculado, VEF = fator de expansão volumétrico, DB = densidade básica, BEF = fator de expansão de biomassa.

2 2. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho de iniciação científica foi quantificar e modelar a biomassa florestal e o teor de carbono em espécies nativas amplamente utilizadas em áreas

de restauração florestal no Estado de São Paulo, apresentando resultados das primeiras avaliações da quantidade de CO₂-equivalente removida da atmosfera pela biomassa aérea de reflorestamentos de áreas degradadas.

Os objetivos específicos foram:

- a) determinar os teores de biomassa seca e os teores de carbono orgânico para tronco e galhada de seis espécies utilizadas amplamente para fins de restauração no Estado de São Paulo;
- b) testar, selecionar e recomendar modelos matemáticos para a quantificação de biomassa seca e carbono orgânico para espécies com diferentes ritmos de crescimento (pioneiras e não-pioneiras).

3 3. Material e métodos

3.1. Locais de coleta de dados

Selecionou-se 4 áreas com plantios de essências nativas no Estado de São Paulo, bioma Mata Atlântica. As áreas selecionadas e as respectivas informações estão na Tabela 2. Os critérios para esta seleção foram as variações existentes entre as produtividades visuais, a localização em diferentes condições ecológicas, as áreas com maiores extensões de plantio, e principalmente a idade e os recursos disponíveis para a realização da coleta de dados em campo. Com isso procurou-se dar a maior abrangência possível para as populações existentes.

Tabela 2. Áreas do estado de São Paulo inventariadas para estimar biomassa e carbono

Local	Plantio (mês/ano)	Área (ha)	Mudas plantadas (mil)	Proprietário
Penápolis-SP	Agosto/2000	25	50	DAEP
Ibaté-SP	Março/2003	7,3	14,5	Viveiro
Valparaíso-SP	Janeiro/2002	14,7	25	Usina
Guaraçai-SP	Junho/2005	10	20	Usina Gasa

Warning: TRIAL RESTRICTION – Table omitted!

TRIAL RESTRICTION

3.2. Obtenção dos dados

Assim, na primeira fase, procedeu-se a implantação de 20 parcelas fixas de 30 árvores cada, distribuídas em povoamentos implantados nas fazendas Santana e São José, localizadas no município de Penápolis (Figura 3).

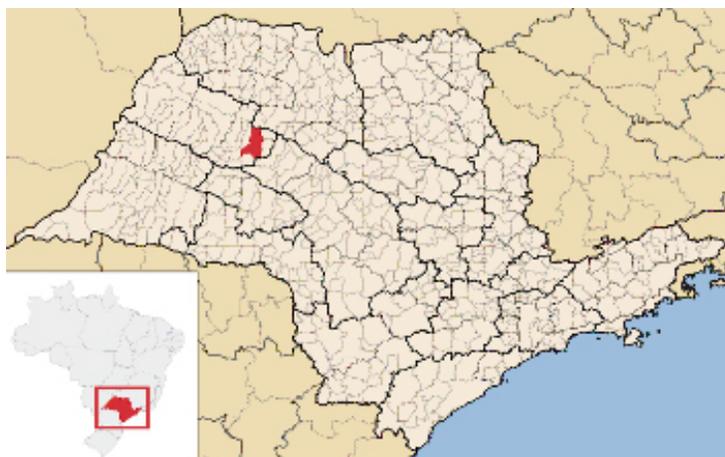


Figura 3: Município de Penápolis

Estes plantios foram selecionados por serem os mais antigos e extensos da lista de povoadamentos. Eles possuíam idades variando entre dois e sete anos cada, tendo sido medidos neles 769 pontos (árvores). As figuras 4 a 6 mostram a localização dos demais municípios com plantios selecionados para o estudo.

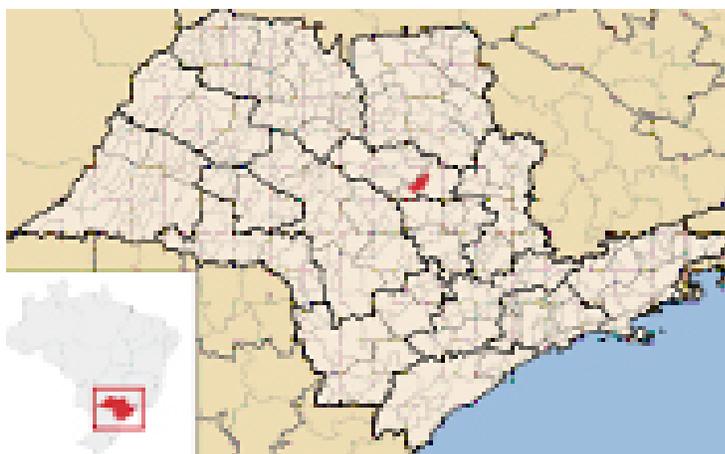


Figura 4: Localização de Ibaté

Figura 5: Localização de Valparaíso

Figura 6: Localização de Guaraçai

Em cada local selecionado foram instaladas 10 parcelas permanentes, exceto em Penápolis, que por ter uma maior área, foram instaladas 20 parcelas. O total de parcelas instaladas nesta fase foi de 50 e o tamanho de cada uma de cerca de 200 m², onde no total mediram-se 1017 árvores. As parcelas permanentes foram marcadas no campo



com piquetes de madeira, nos quatro cantos (Figura 7). Foram instaladas parcelas fixas de 30 pontos (árvores), com 3 linhas de 10 pontos cada, dentro dos povoamentos. Tais parcelas, localizadas a, pelo menos, 50 metros uma a outra. Foram também pintadas faixas brancas nas primeiras e últimas árvores de cada linha da parcela, além de ser demarcado o número da parcela na “entrada” da mesma, no carregador, também foi tomada a coordenada GPS de cada uma delas. Como as áreas selecionadas foram áreas de preservação permanente ao longo de cursos d’água, a forma das parcelas é retangular com o maior comprimento ao longo dos respectivos cursos.



Figura 7: Marcação de uma parcela permanente de inventário

Em cada ponto (árvore) foram coletadas as seguintes características:

- Espécie;
- Altura;
- Diâmetro (DAP);
- Presença de fruto;
- Presença de semente;
- Presença de flor;
- Árvore cortada;
- Árvore morta;
- Árvore tombada;
- Árvore quebrada;
- Árvore com diâmetro menor que 5 cm;
- Falha (árvores inexistentes);
- Bifurcada abaixo do nível do DAP.



Figura 8: Medição de uma parcela de inventário

Todos os diâmetros foram tomados à altura do peito (1,30m) e medidos com emprego de uma suta Haglöf com precisão de 0,5 cm (Figura 8). As alturas foram tomadas com o emprego de um hipsômetro a laser da marca Vertex. As coordenadas geográficas da entrada de cada parcela foram tomadas a partir do emprego de um GPS Garmin modelo Etrex. Todos os dados foram registrados em planilhas específicas para posterior digitação e tratamento e análise estatística dos dados pelo SAS (*Statistical Analysis System*).

Além destes dados tomados por ponto, foram registradas informações da situação da parcela, como: presença de formigueiros; presença de enxame de abelhas; presença de cupins.

Quanto à variabilidade e ocorrência de espécies, fator que determina diretamente quais e quantas espécies deverão ser amostradas para fins de determinação de biomassa e carbono, verificou-se que havia 74 espécies das quais 12 representavam 60% de todos os indivíduos encontrados.

Na Figura 9 é apresentada a relação das espécies que totalizam 60% de todos os indivíduos medidos, e respectivas frequências de ocorrência. Ou seja, observa-se que a distribuição é bastante heterogênea, sendo 80% de todos os indivíduos pertencem a apenas 12 espécies.

Figura 9: Relação de espécies de maior ocorrência e respectivas frequências

No povoamento de maior idade, localizado em Penápolis, foram selecionadas as 6 espécies de maior ocorrência para a coleta de material para estimativa da biomassa e carbono e elaboração das equações alométricas. As espécies selecionadas abrangem 3 pioneiras e 3 não-pioneiras (Tabela 3).

Tabela 3: Espécies selecionadas para a geração das equações alométricas, onde P= pioneira e NP= não-pioneira.

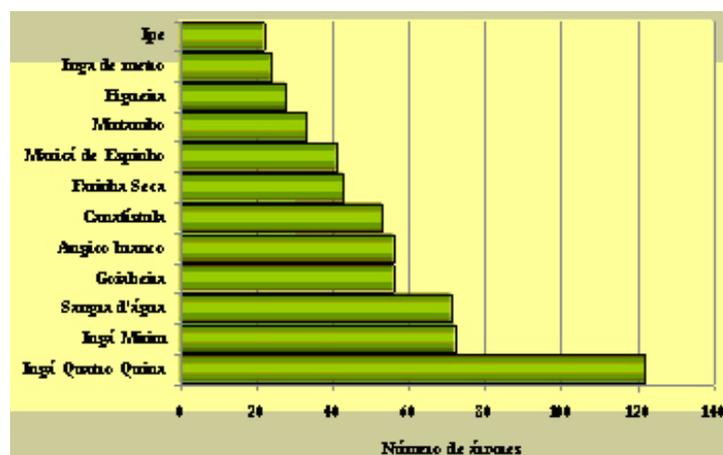


Tabela 1: Espécies selecionadas para a geração das equações alométricas. Legenda: P = pioneira, NP = não pioneira.

Espécie	Nome Popular	Classe Ecológica	Árvores Amostradas
<i>Acácia mangium</i>	Acácia mangium	P	15
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico Branco	NP	15
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico Vermelho	NP	15
<i>Inga laurina</i>	Ingá Mirim	NP	15
<i>Inga uruguensis</i>	Ingá Quatro Quinas	P	15
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá de Espinho	P	15
TOTAL			90

De cada espécie foram selecionadas 15 árvores sendo 5 em cada classe de DAP (5 a 10 cm, 10 a 15 cm e acima de 15 cm). Estas 90 árvores foram selecionadas fora das parcelas fixas de inventário (monitoramento), tendo sido abatidas, amostradas, medidas e pesadas em campo (Figuras 10, 11, 12, 13).



Figura 10: Abate de um indivíduo selecionado



Figura 11: Medição do comprimento do fuste

Figura 12: Retirada de disco do fuste para determinação de biomassa e teor de carbono



Figura 13: Idem a figura anterior, porém na porção superior da mesma árvore

De cada seção da árvore abatida foram medidos os diâmetros com e sem casca e o comprimento de cada seção (tronco).



Figura 14: Medição do diâmetro de uma amostra do fuste para determinação posterior do teor de casca e da biomassa



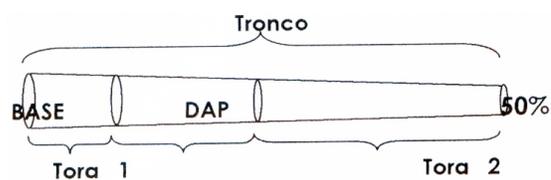
Figura 15: Identificação de cada amostra retirada do fuste, indicando árvore e posição da amostra nas árvores, e o acondicionamento final das amostras para determinação do teor de umidade

Figura 16: Preparo da galhada para pesagem da biomassa

De cada árvore abatida foram coletados 4 discos para posterior determinação de densidade básica e teor de carbono, sendo o primeiro a 0% da altura do fuste, outro no DAP, e os demais a 50% e 100 % da altura. Além disso, amostras da galhada também foram coletadas conforme a Figura 16. Cada árvore teve o seu DAP e altura total medidos.

Figura 17: Esquema representativo do local da retirada dos discos no tronco dos indivíduos





3.3. Estimativa da biomassa acima do solo e teor de carbono

As sub-amostras de galhada foram secas em estufa à 105 °C até peso constante, a fim de se determinar a quantidade de água presente e a relação entre peso fresco e peso seco de todos os componentes. Para cada espécie, dois indivíduos (duas sub-amostras de galhadas) foram secas à apenas 55 °C para que pudessem ser destinadas à quantificação do carbono. A determinação de carbono foi feita em equipamento LECO CHN-2000 do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do CENA/USP. O material foi selecionado e preparado (moído) no Centro de Métodos Quantitativos da ESALQ/USP.

Quanto aos discos, estes foram colocados em tanques e submersos em água a fim de que seja obtido seu volume saturado (verde). Após esta etapa, os discos foram secos em estufa a 105 °C até peso constante e então pesados. Em laboratório, a densidade básica da madeira dos discos foi determinada através do método da balança hidrostática e uso de uma estufa de circulação forçada. Assim como a galhada, os discos de dois indivíduos por espécie foram secos a 55 °C e encaminhados para a quantificação de carbono no CENA/USP.

Obtidos os dados de massa seca e volume verde, a densidade básica foi calculada para cada disco (DB_{BASE} , DB_{DAP} , $DB_{50\%}$ e $DB_{100\%}$):

$$DBi = Msi / Vvi$$

Onde: DBi = densidade básica em gcm^{-3} , Msi = massa seca em g e Vvi = volume verde (saturado) em m^3 .

Em seguida, o volume do tronco foi obtido a partir da equação de *Smalian*, calculado por seção (tora):

$$Vtora = [(A0 + A1) / 2] L$$

Onde: $Vtora$ = volume da tora em m^3 , L = comprimento da tora em m e Ai = área basal inferior e superior da tora:

$$Ai = (\pi Di^2) / 4$$

Sendo assim:

$$Vtora = \{[(\pi/4) D0^2 + (\pi/4) D1^2] / 2\} L$$

Onde: $Vtora$ = volume da tora em m^3 , D = diâmetro do disco correspondente em m e L = comprimento da tora em m.

Como para cada árvore foram obtidas 3 toras (seções):

$$\text{Volume do tronco} = V_{\text{tora1}} + V_{\text{tora2}} + V_{\text{tora3}}$$

Obtidos os dados preliminares: alturas, diâmetros, volumes e densidades básicas, a biomassa pôde ser estimada por seção:

$$B1: V1 * \{(DB_{BASE} + DB_{DAP})/2\}$$

$$B2: V2 * \{(DB_{DAP} + DB_{50\%})/2\}$$

$$B3: V3 * \{(DB_{50\%} + DB_{100\%})/2\}$$

Onde: V_i = volume da tora em m^3 , DB = densidade básica do disco retirado a dada altura (base, DAP, 50% da altura e 100% da altura) em gcm^{-3} .

Assim, a biomassa total do tronco de cada indivíduo foi obtida pela soma das biomassas das seções em m^3 :

$$B_{TRONCO} = B1 + B2 + B3$$

Para a obtenção da biomassa da galhada, os seguintes passos foram realizados:

1°: Peso verde da galhada – PVG: obtido em campo.

2°: Peso verde da amostra da galhada – PVAG: obtido em campo.

3°: Peso seco da amostra da galhada – PSAG: obtido em laboratório.

4°: Desta forma, peso seco (biomassa) da galhada (PSG) será:

$$PSG = PVG * (PSAG / PVAG)$$

Finalmente, a biomassa aérea de cada indivíduo será obtida pela seguinte soma:

$$BA = B_{TRONCO} + B_{GALHADA}$$

O teor de carbono em cada indivíduo pode ser calculado como o produto de sua biomassa e do teor de carbono encontrado pelo CENA/USP. O cálculo do carbono equivalente será:

$$CO_2eq = CO2 * (44/12)$$

Tabela 2: Dados médios das espécies usados para elaboração das equações de biomassa. Legenda: DAP = diâmetro à altura do peito médio (cm), HT = altura total média (m), DB = densidade básica média do tronco com casca, BG = biomassa média seca da galhada (Kg), BF = biomassa média seca do tronco (Kg), BT = biomassa média seca total (Kg).

ESPÉCIE	DAP	HT	DB	BG	BF	BT
Acácia mangium	11,94	7,40	0,4582	21,91	72,83	94,74
Anandeanthera colubrina	11,79	8,73	0,5289	18,08	92,41	110,48
Anandeanthera macrocarpa	12,43	8,37	0,4778	16,75	105,22	121,97
Inga laurina	11,73	8,65	0,4348	28,78	76,56	105,34
Inga uruguensis	11,58	8,21	0,4327	30,84	62,17	93,01
Mimosa bimucronata	12,01	8,43	0,5397	35,08	85,55	120,63

3.4. Modelos alométricos

Os dados: massa seca do tronco, da galhada e total da parte aérea, o DAP e altura total das árvores, foram usados para a elaboração das equações de biomassa para cada componente da parte aérea da árvore, assim como o total da biomassa aérea. Foram testados diversos modelos através da análise de regressão linear e não-linear. Os modelos foram escolhidos através do coeficiente de determinação e análise dos resíduos.

O modelo que melhor se adaptou aos dados foi usado para calcular os valores de biomassa do fuste, da galhada e total dos outros plantios inventariados. Para estimar a quantidade de CO₂-equivalente nas parcelas de inventário, utilizou-se os dados obtidos pela análise de carbono em amostras das árvores selecionadas para o abate.

4 4. Resultados e Discussões

Os dados dendrométricos médios (DAP e altura total) por espécie, assim como a densidade básica média do tronco com casca e biomassa da galhada, do tronco e total, estão na Tabela 3.

Tabela 3. Dados médios das espécies. Onde: DAP = diâmetro à altura do peito médio (cm), HT = altura total média (m), DB = densidade básica média do tronco com casca (g.cm⁻³), BG = biomassa média seca da galhada (Kg), BF = biomassa média seca do fuste (Kg) e BT = biomassa média seca total (fuste + galhada)(Kg).

Analisou-se inicialmente, se havia diferença entre as espécies pioneiras e não-pioneiras, em relação à biomassa seca total (galhada e tronco com casca), o DAP e a densidade básica. As características médias das árvores das espécies pioneiras e não-pioneiras estão na Tabela 4.

Tabela 4. Características das espécies pioneiras e não-pioneiras amostradas para

Tabela 3: Características das espécies pioneiras e não-pioneiras amostradas para o estudo da biomassa e carbono.

Classe Ecológica	DAP Médio (cm)	Biomassa Total (kg)	Densidade Básica Média (g.cm ⁻¹)
Pioneira	11,84	102,79	0,4769
Não-pioneira	11,98	112,60	0,4805

o estudo da biomassa e carbono:

Segundo o teste Tukey, à 5% de probabilidade, não houve diferença estatística entre os dois grupos de espécies em relação às características DAP médio, biomassa da galhada, biomassa do fuste, biomassa total e densidade básica média da madeira do tronco das árvores amostradas, justificando o agrupamento das seis espécies em uma única equação de biomassa.

O modelo de equação de biomassa que apresentou melhor ajustamento aos dados foi o que utiliza o DAP apenas como variável independente, tanto para a biomassa total, biomassa do fuste como para biomassa da galhada. A inclusão da altura total, ou da densidade básica, pouco acrescentou na melhoria dos coeficientes de determinação e na análise dos resíduos.

O valor do coeficiente de determinação para o modelo de biomassa total com apenas o DAP foi de 0,8656 e para o modelo que incluía a altura total das árvores foi de 0,8762, uma diferença de apenas 0,01 ou seja, 1%. Esta diferença subiu para 0,0369 para o modelo de predição da biomassa do fuste. No modelo de biomassa da galhada, a variável altura acrescentou ainda menos na explicação de sua variação.

A obtenção da variável altura total nos trabalhos de campo acrescenta alto custo à atividade de inventário, pois é mais demorada que a medição do DAP e apresenta alto erro de medição, sobretudo em populações de espécies folhosas, necessitando de pessoa habilitada e equipamento de alto custo para fazer esta estimativa. Desse modo os modelos selecionados foram:

$$\ln(BT) = -1,19829 + 1,98391 \cdot \ln(DAP) \quad R^2 = 0,8656 \quad (1)$$

$$\ln(BF) = -1,96521 + 1,99688 \cdot \ln(DAP) \quad R^2 = 0,8816 \quad (2)$$

$$\ln(BG) = -1,96722 + 1,99320 \cdot \ln(DAP) \quad R^2 = 0,6700 \quad (3)$$

onde: \ln = logaritmo neperiano (base e),

BT = biomassa seca total da parte aérea: tronco + galhada (kg),

BF = biomassa seca do tronco com casca (kg),

BG = biomassa seca total da galhada (kg),

DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

Por outro lado, se o modelo de predição da biomassa do fuste considerar a altura comercial (altura do fuste) e não a altura total do indivíduo, o ajuste (R^2) passa a ser de 0,9205:

$$\ln(BF) = -2,53789 + 0,82275 \cdot \ln(DAP^2 \cdot Hf) \quad R^2 = 0,9205 \quad (4)$$

onde: \ln = logaritmo neperiano (base e),

BF = biomassa seca do tronco com casca (kg),

DAP = diâmetro à altura do peito (cm),

Hf = altura comercial (fuste) (m).

Em relação à biomassa total (fuste + galhada), observa-se que a distribuição dos resíduos (Figura 18) não apresenta tendência clara, ou seja, não se pode notar a superestimação ou subestimação marcada dos valores preditos.

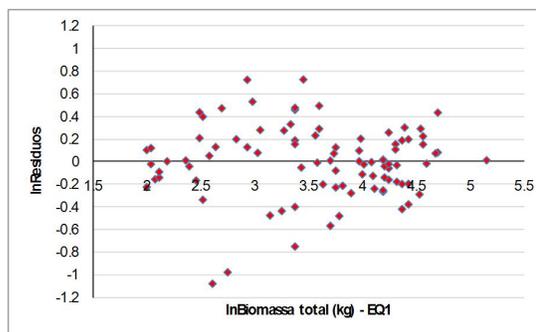
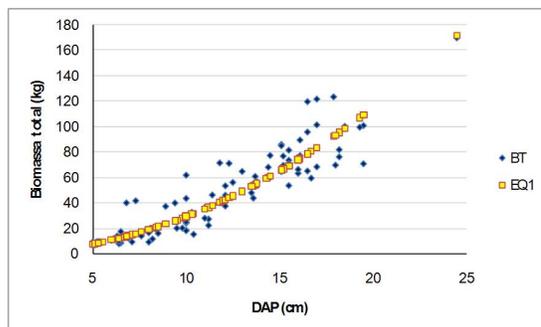


Figura 18: Distribuição dos resíduos relativos à equação 1 – predição da biomassa total (fuste+galhada).

Segundo a figura 19, pode-se notar que o modelo de predição da biomassa total (fuste+galhada) foi bem ajustado à variação dos dados encontrados, confirmando o que a distribuição dos resíduos mostrou: não há tendência de super ou subestimação dos valores preditos.

Figura 19: Comparação dos valores observados e preditos pela equação 1 de biomassa total (fuste + galhada) em relação ao DAP (cm). BT=biomassa total.

A figura 20 confronta os valores observados de biomassa total (fuste+galhada) e os valores preditos por meio da linha de 45°. Pode-se observar que os pontos estão dispersos ao longo da linha e não estão na proporção 1:1. Porém, esta dispersão é homogênea



(acima e abaixo da linha 1:1). Isto se deve ao fato de que o modelo explica 86% da variação da biomassa total.

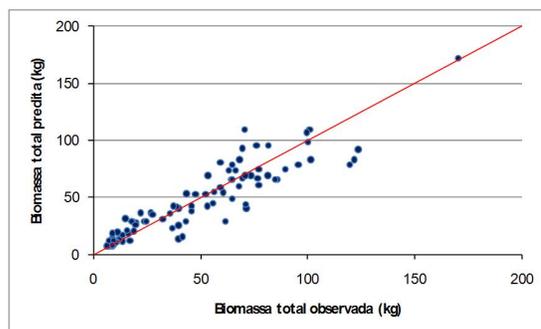


Figura 20: Comparação dos valores de biomassa total preditos pela equação 1 e os valores observados

Quanto aos modelos de predição da biomassa do fuste, nota-se que a equação 2, que conta apenas com o DAP como variável independente possui distribuição dos resíduos mais esparsa, porém, homogênea ao longo do eixo, demonstrando que não há tendência clara para a super ou subestimação das predições. Já a distribuição dos resíduos da equação 4, que conta com o DAP e a altura do fuste como variáveis independentes, mostra-se menos dispersa ao longo do eixo, ou seja, mostra um melhor ajuste aos valores observados.

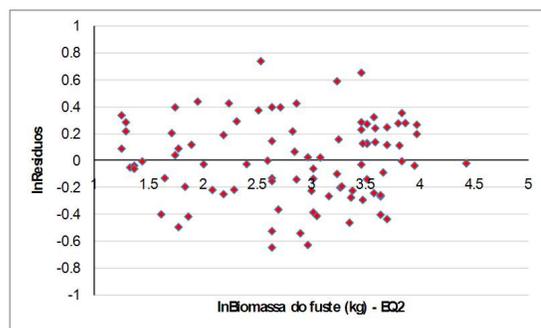


Figura 21: Distribuição de resíduos referente à predição da biomassa do fuste segundo a equação 2, que conta apenas com o DAP como variável independente.

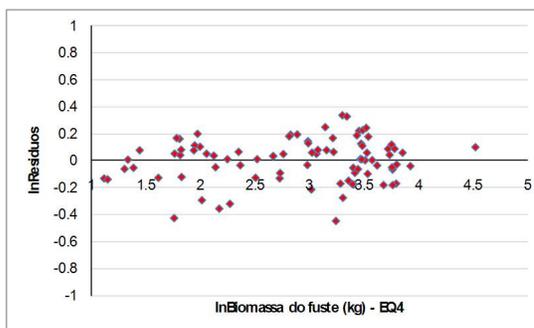


Figura 22: Distribuição de resíduos referente à predição da biomassa do fuste segundo a equação 4, que conta com o DAP e a altura do fuste (altura comercial) como variáveis independentes.

A figura 23 explicita o fato de que a equação 4 explica uma maior parte da variação dos valores observados ($r^2=0,92$) se comparada à equação 2 ($r^2=0,88$). Isto se dá pois a equação 4 possui duas variáveis independentes (DAP e altura do fuste). Observa-se que a partir de 10 cm de diâmetro, a relação DAP x Biomassa do fuste já não é tão direta, ou seja, existem outros fatores que influem na variação desta biomassa, como é o caso da altura e isto torna a predição menos acurada quanto maior o DAP.

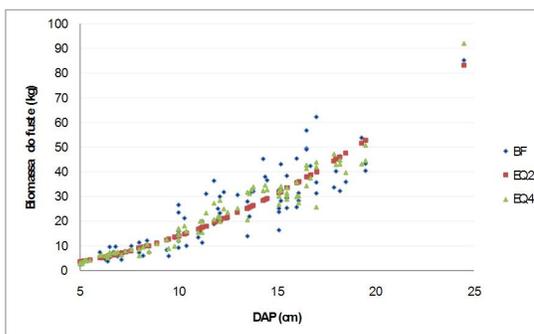


Figura 23: comparação das equações de predição da biomassa do fuste com o DAP unicamente como variável independente (EQ2) e com o DAP e a altura do fuste como variáveis independentes (EQ4). BF= biomassa do fuste observada (kg).

Segundo as figuras 24 e 25, nota-se que a predição dos valores de biomassa do fuste é menos acurada quanto maior for o valor observado. Por outro lado, nota-se que na figura 27 (Eq.4, que considera o DAP e a altura do fuste como variáveis predictoras) os pontos estão menos dispersos em relação à linha 1:1, mostrando maior acurácia na predição.

Figura 24: Comparação dos valores de biomassa do fuste preditos pela Eq. 2 e os valores observados.

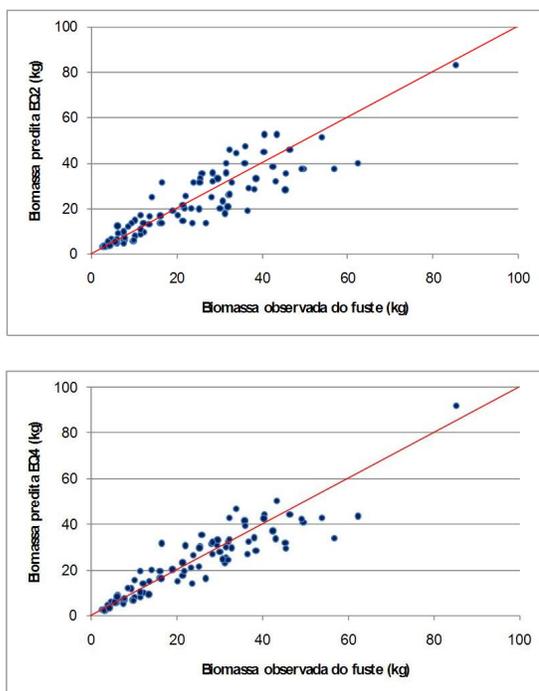


Figura 25: Comparação dos valores de biomassa do fuste preditos pela Eq. 4 e os valores observados.

O modelo de predição da biomassa da galhada foi o que apresentou menor ajuste à variação dos dados observados ($r^2=0,67$). Isto se reflete na distribuição de resíduos observada na figura 28. No entanto, esta distribuição é homogênea ao longo do eixo, não demonstrando nenhuma tendência à super ou subestimação (existem pontos acima e abaixo ao longo de todo o eixo x).

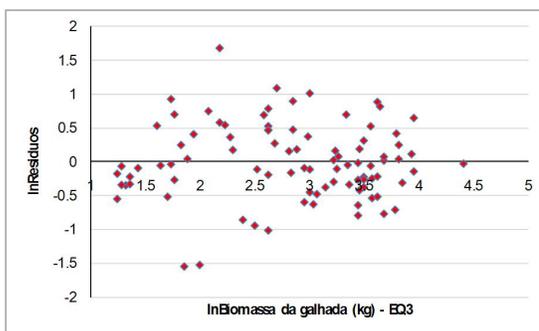


Figura 26: distribuição de resíduos relativos à Eq.3 – predição da biomassa da galhada.

A figura 27, assim como a 28, mostra os valores preditos pela Eq.3 comparados aos

valores observados de biomassa da galhada. Pode-se perceber que há uma ligeira tendência à subestimação dos valores quanto maior o valor de biomassa observado, fato que será confirmado pela figura 30. Isto pode ser explicado, em parte, pelo fato de que a Eq.3 considera apenas o DAP como variável preditora, mas muitos indivíduos ramificam antes mesmo de 1,3m (94%), ou seja, o DAP é subestimado em relação ao volume de copa do indivíduo.

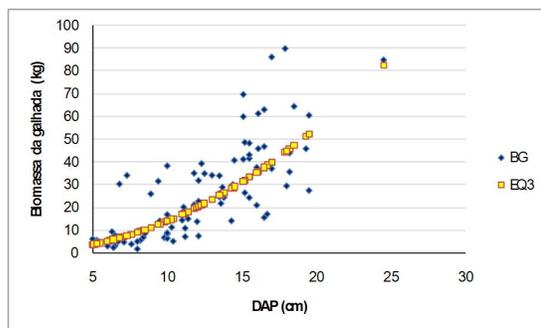


Figura 27: Comparação dos valores preditos de biomassa da galhada pela Eq.3 e valores observados em relação ao DAP. BG=biomassa da galhada.

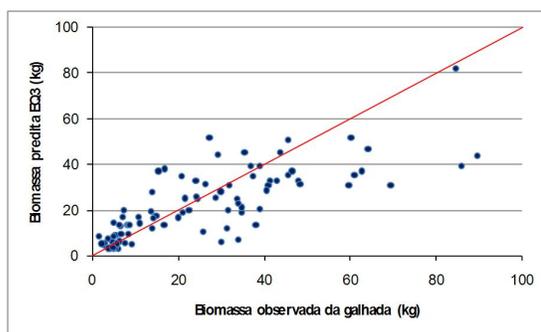


Figura 28: Comparação dos valores preditos de biomassa da galhada pela Eq.3 e valores observados através da linha de proporção 1:1 (ou 45°).

O teor médio de carbono nas amostras dos componentes da árvore, por espécie estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Teor de carbono médio (%) por espécie, para os três componentes da árvore. Onde: CGAL = teor médio de carbono na galhada (%), CMAD = teor médio de carbono no lenho (%), CCAS = teor médio de carbono na casca (%).

Para a equação que estima a quantidade de carbono por árvore, também o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o que utiliza o DAP apenas como variável independente. A inclusão da altura total, ou da densidade básica, pouco acrescentou na melhoria dos coeficientes de determinação e na análise dos resíduos dos modelos de predição de carbono.

Espécie	CGAL	CMAD	CCAS
Acácia mangium	53.76	53.2	56.28
Anadenanthera colubrina	55.02	52.28	54.98
Anadenanthera macrocarpa	54.92	53.1	54.92
Inga laurina	52.4	51.58	48.78
Inga uruguensis	50.14	51.3	48.72
Mimosa bimucronata	50.22	52.18	48.82

O valor do coeficiente de determinação para o modelo de carbono total com apenas o DAP foi de 0,8707 e para o modelo que incluía a altura total das árvores foi de 0,8819, uma diferença de apenas 0,01 ou seja, 1%. Esta diferença subiu para 0,0351 para o modelo de predição de carbono no fuste (madeira + casca). No modelo de carbono da galhada, a variável altura quase não contribui na explicação de sua variação.

Desse modo os modelos selecionados de equações alométricas para a estimativa de carbono foram:

$$\ln (CT) = -1,84511 + 1,98505 \cdot \ln (DAP) \quad R^2 = 0,8707 \quad (5)$$

$$\ln (CF) = -2,61860 + 1,99854 \cdot \ln (DAP) \quad R^2 = 0,8801 \quad (6)$$

$$\ln (CG) = -2,61205 + 1,99502 \cdot \ln (DAP) \quad R^2 = 0,6815 \quad (7)$$

onde: \ln = logaritmo neperiano (base e),

CT = carbono total da parte aérea: tronco + galhada (kg),

CF = carbono no tronco com casca (kg),

CG = carbono na galhada (kg),

DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

A figura 29 representa a distribuição dos resíduos referentes à Eq.5 de predição do carbono total por indivíduo. Pode-se notar que estes estão distribuídos de maneira homogênea ao longo do eixo x, sem tendências evidentes à super ou subestimação dos valores preditos.

Figura 29: Distribuição dos resíduos referentes à Eq.5 de predição do carbono total (fuste+galhada) por indivíduo.

A figura 30 compara os valores preditos pela Eq. 5 e os valores observados de carbono na galhada. Nota-se que a variável independente DAP é a que explica a maior variação do carbono total (fuste+galhada) por indivíduo.

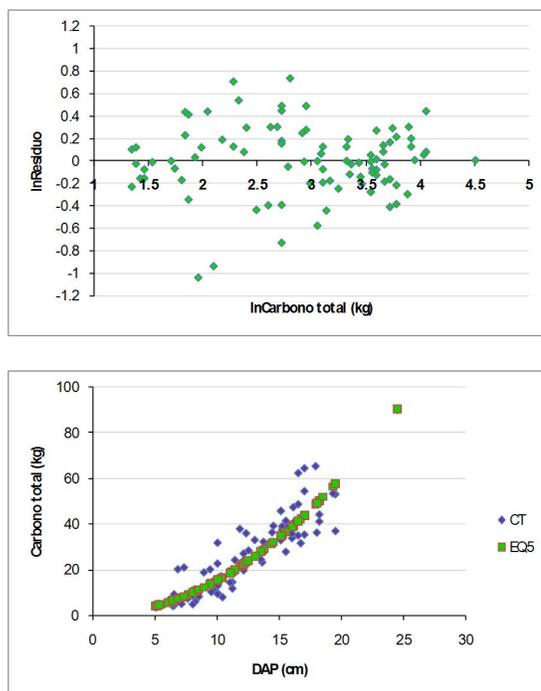


Figura 30: Comparação dos valores observados e preditos de carbono total (fuste + galhada) pela Eq.5 em relação ao DAP. CT= carbono total (fuste + galhada).

Segundo a figura 31, pode-se observar que quanto maior o valor de carbono total (fuste+galhada), menos acurada é a predição da mesma. Isto pode estar ligado ao fato de que a predição do carbono da galhada apresentou baixo ajuste ($r^2=0,68$), diminuindo também o ajuste do modelo de predição do carbono total.

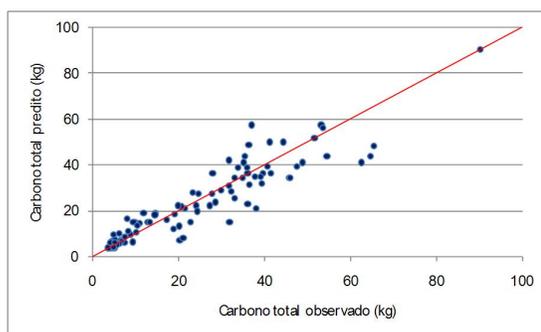


Figura 31: Comparação dos valores observados e preditos de carbono total através da linha de 45°.

A figura 32 evidencia o bom ajuste da Eq.6 de predição do carbono do fuste aos valores observados. Nota-se que os resíduos distribuem-se de forma bastante homogênea ao

longo do eixo e não evidenciam tendências de super ou subestimação.

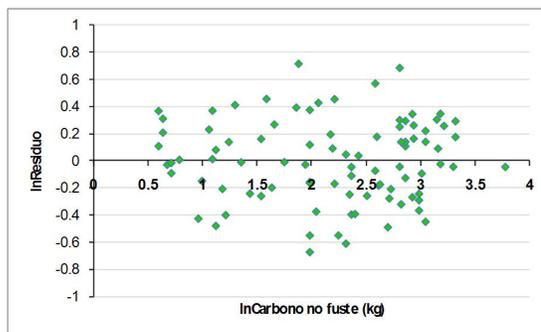


Figura 32: Distribuição dos resíduos referentes à Eq.6 de predição do carbono no fuste a partir da variável independente DAP.

As figuras 33 e 34 mostram que a partir de 10 cm de DAP a predição do carbono no fuste se torna menos acurada. Porém, a equação ajusta-se bem aos dados observados e consegue explicar 88% da variação, conferindo boa predição.

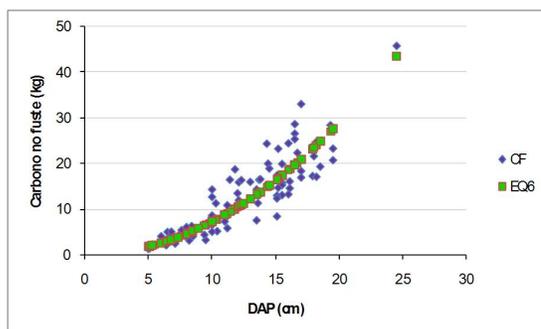


Figura 33: Comparação dos valores observados e preditos de carbono do fuste pela Eq.6 em relação ao DAP. CF= carbono no fuste (com casca).

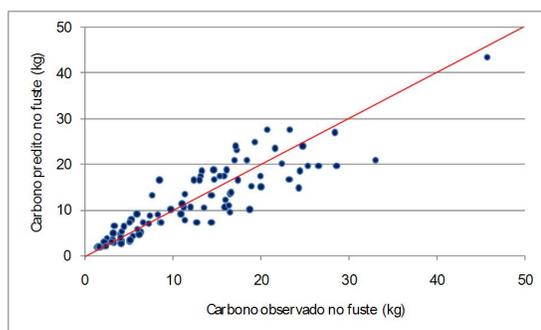


Figura 34: Comparação dos valores observados e preditos de carbono do fuste (com casca) através da linha de 45°.

Finalmente, no que se refere à distribuição de resíduos relativa à Eq. 7 de predição do carbono na galhada (Figura 35), nota-se que esta é também homogênea ao longo do eixo x, indicando que a soma destes resíduos tem tendência a ser igual à zero.

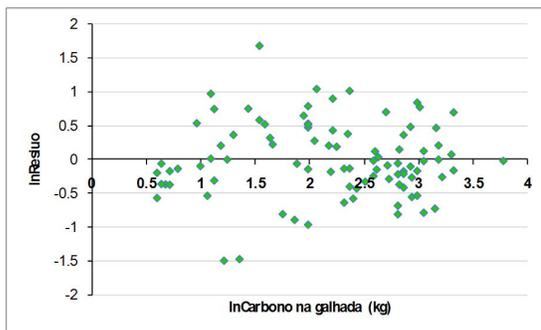


Figura 35: Distribuição dos resíduos relativos à Eq.7 de predição do carbono na galhada por indivíduo.

A figura 36 compara os valores preditos de carbono na galhada pela Eq.7 com os valores observados em relação ao DAP. Nota-se que a Eq.7 está bem ajustada à variação do carbono na galhada, porém como evidencia também a figura 37, os valores mais altos observados são subestimados pela equação. Assim como a biomassa da galhada, esta subestimação pode estar ligada ao fato que 94% dos indivíduos são ramificados abaixo do DAP, o que pode causar a subestimação da copa (galhada) em relação ao DAP.

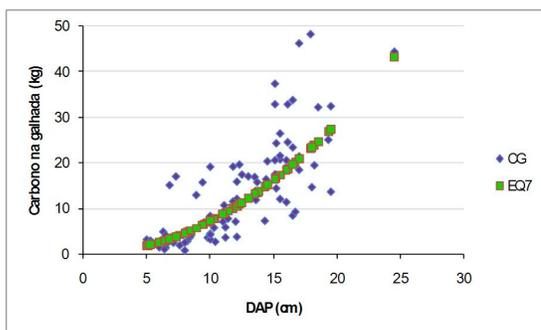


Figura 36: Comparação dos valores observados e preditos de carbono da galhada pela Eq.7 em relação ao DAP. CG= carbono da galhada.

Figura 37: Comparação dos valores observados e preditos de carbono da galhada através da linha de 45°.

Os dados de inventário florestal também foram analisados estatisticamente. No geral 50% das parcelas apresentavam presença de formigueiros e 26% de cupins. Mais de 94% das árvores medidas apresentavam bifurcação abaixo do nível do DAP (1,30 m) e a presença de frutos foi inferior a 4%. Foram identificadas 74 espécies nos quatro plantios inventariados.

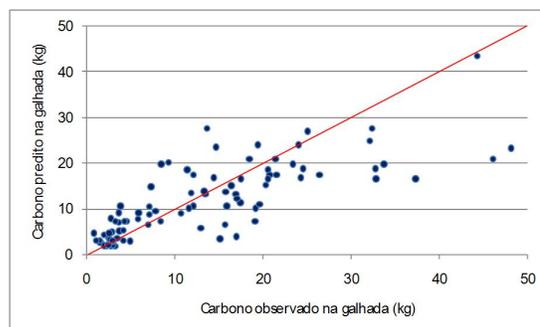


Tabela 4: Número de espécies identificadas em cada local e a espécie de maior ocorrência.

Local	Número de espécies	Espécies de maior ocorrência
Penápolis - SP	27	Ingá Quatro Quinas
Ibaté - SP	56	Marica de Espinho
Valparaíso - SP	14	Angico
Guaraçaf - SP	12	Sangra d'água
Total	74	Ingá Quatro Quinas

A Tabela 7 mostra o número de espécies (riqueza) encontrado em cada local, assim como a espécie de maior ocorrência.

Tabela 7. Número de espécies identificadas em cada local e a espécie de maior ocorrência.

Os valores médios para cada local estudado da biomassa, carbono e as respectivas idades, estão na Tabela 8.

Tabela 8. Biomassa média por hectare para cada local inventariado, onde BTHA = biomassa média por hectare em Mg/ha e CTHA = carbono médio por hectare em Mg/ha.

Para cada local foi também estimado o número de árvores existentes por hectare, a área basal e a quantidade de CO₂-equivalente (Tabela 9).

Tabela 9. Número médio de árvores por hectare, área basal e quantidade de CO₂-equivalente. Onde: NHA = número de árvores por hectare, ABHA = área basal por hectare (m².ha⁻¹), CO₂EHA = quantidade de carbono fixado na forma de CO₂-equivalente (Mg.ha⁻¹).

Para se ter uma estimativa do crescimento foram calculados, para cada local, os incrementos médios anuais em biomassa total e CO₂-equivalente (Tabela 10).

Tabela 5: Biomassa média por hectare para cada local inventariado, onde BTHA = biomassa média por hectare em Mg/ha e CTHA = carbono médio por hectare em Mg/ha.

Local	Idade (anos)	BTHA	CTHA
Ibaté - SP	7,0	50,74	25,95
Valparaíso - SP	4,5	33,87	18,05
Guaraçai - SP	5,5	27,98	14,61
Penápolis - SP	2,0	37,49	19,25
Média	5,2	37,52	19,46

Tabela 6: Número médio de árvores por hectare, área basal e quantidade de CO₂-equivalente. Onde: NHA = número de árvores por hectare, ABHA = área basal por hectare (m².ha⁻¹), CO2EHA = quantidade de carbono fixado na forma de

Local	NHA	ABHA	CO2EHA
Penápolis - SP	1164	7,97	70,57
Ibaté - SP	1776	10,76	95,15
Valparaíso - SP	1720	7,16	66,18
Guaraçai - SP	1191	5,52	53,56
Média	1403	7,87	71,37

CO₂-equivalente (Mg.ha⁻¹).

Tabela 10. Incrementos médios anuais em biomassa total e CO₂-equivalente, ambos em Mg/ha*ano.

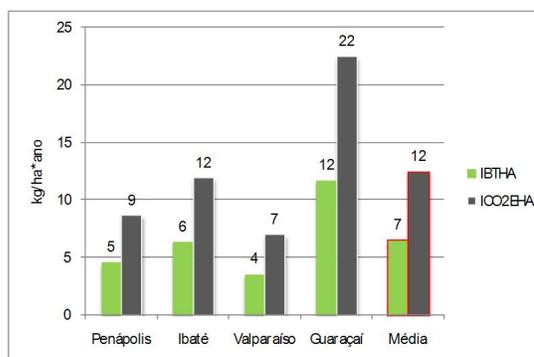


Figura 38: Incremento médio anual de Biomassa e CO₂-eq, por árvore, segundo local (kg/ha*ano).

Figura 39: Incremento anual de CO₂eq e biomassa segundo idade dos povoamentos (Mg/ha*ano).

Tabela 7: Incrementos médios anuais em biomassa total e CO₂-equivalente, ambos em Mg/ha*ano.

Local	Idade (anos)	IBTHA	ICO2EHA
Penápolis - SP	7,0	5,36	10,08
Ibaté - SP	4,5	11,28	21,14
Valparaíso - SP	5,5	6,16	12,03
Guaraçai - SP	2,0	13,99	26,78
Média	5,2	9,19	17,51

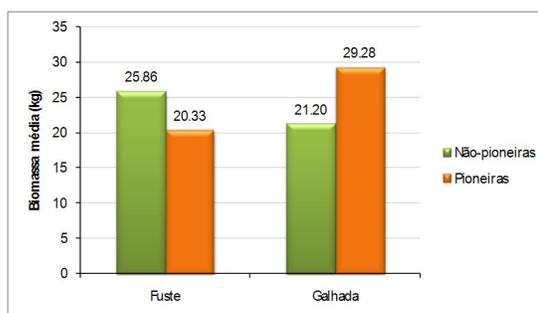
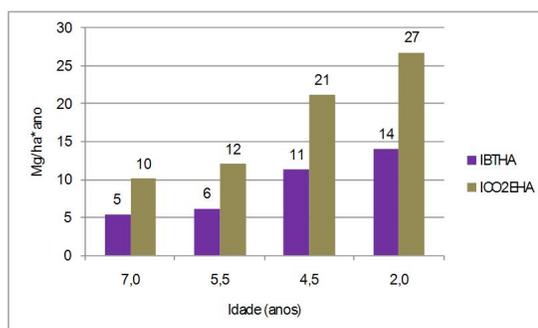


Figura 40: Distribuição da biomassa total segundo classe ecológica e localização na árvore.

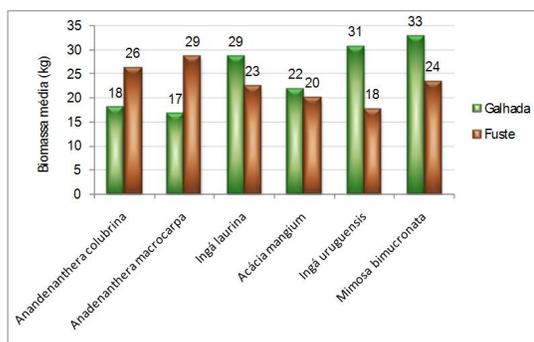


Figura 41: Distribuição da biomassa média segundo espécie e localização na árvore.

5 5. Conclusões

Os resultados mostram que há grande variação no crescimento das florestas plantadas com essência nativas. Esta variação é função não só da variação esperada entre sítios, mas também dos tratamentos culturais recebidos pelas plantas, a qualidade das mudas plantadas, assim como material genético, visto que em cada região os plantios foram executados por diferentes instituições. Não obstante, cada região tem uma idade de plantio distinta da outra, o que acaba impossibilitando a definição de uma curva de crescimento.

O incremento médio anual (IMA) por árvore, em biomassa total, da parte aérea (tronco + galhada) das plantas para todos os locais é de $6,55 \text{ Kg.árvore}^{-1}$. Para CO_2 -equivalente, este incremento é de $12,48 \text{ Kg.árvore}^{-1}$. Isto representa $249,60 \text{ Kg.árvore}^{-1}$ de CO_2 -equivalente no 20º ano, ou seja, 4,0 árvores por tonelada de CO_2 -equivalente removido da atmosfera.

Porém dadas todas as restrições acima, aliadas ao fato de que a curva de crescimento não é linear, variando de inclinação conforme a idade, é muito provável que o número médio acima citado ($249,60 \text{ kg de CO}_2\text{eq/árvore em 20 anos}$) esteja superestimado, sendo que a definição do valor exato seja possível apenas com a definição da curva de crescimento dos povoamentos agora avaliados. Através do monitoramento até a idade de estagnação do crescimento dos povoamentos, poder-se-à obter uma curva de crescimento baseada nas informações obtidas nos plantios inventariados. Estima-se que esta curva poderá ser obtida com monitoramentos contínuos (a cada 1 ou 2 anos) até a idade de 20 a 30 anos. Desta forma as parcelas permanentes ora instaladas deverão ser monitoradas ao longo deste período.

Ocorre que a demanda por um índice de neutralização de CO₂ equivalente é imediata, sendo necessário um número que balize todas as conversões. Assim, com atitude conservadora, pode-se eleger o menor IMA verificado, entre todos os povoamento medidos, que foi observado nos plantios de Valparaíso, 7,0 kgCO_{2eq}.ano⁻¹ por árvore, ou **140,0 kg CO₂ equivalente por árvore aos 20 anos de idade, ou 7,14 árvores por tonelada de CO₂ equivalente em 20 anos.**

6 6. Bibliografia

ALBRECHT A., KANDJI S.T. 2003. *Carbon sequestration in tropical agroforestry systems*. Agriculture, Ecosystems and Environment v.99, p.15–27.

BUFO, L. V. B. 2008. Restauração Florestal e Estoque de Carbono em Modelos de Implantação de Mudas sob Diferentes Combinações de Espécies e Espaçamentos. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, 87pp.

BROWN S. e LUGO A.E. 1990. *Tropical Secondary Forests*. Journal of Tropical Ecology, v.6(1), p.1-32.

BROWN S. e LUGO A.E. 1992. *Aboveground Biomass Estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon*. Interciencia, v.17(1), p.8-18.

BROWN S., GILLESPIE A.J.R. e LUGO A.E. 1989. *Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data*. Forest Science, v.35(4), p.881-902.

BROWN, S., 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: A Primer*. Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 55p.

CHAVE J., ANDALO C., BROWN S., E. CAIRNS M. A., CHAMBERS J. Q., EAMUS D., FÖLSTER H., FROMARD F., HIGUCHI N., KIRA T., LESCURE J.-P., NELSO B. W. N., OGAWA H., PUIG H., RIÉRA B., YAMAKURA T. 2005. *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia, v.145, p.87-99.

DIAS, L.E. & GRIFFITH, J.J. 1998. Conceituação e Caracterização de áreas Degradadas. In: Dias, L.E. & Mello, J.W.U. (ed.) Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p.1-7.

HIROTSUKA M. TOMA T., MINDAWATI N., HERIANSYAH I., MORIKAWA Y. 2005. *Biomass of a man-made forest of timber tree species in the humid tropics of West Java, Indonesia*. J.For. Res. v.10, p.487-491.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A. & MATSUKUMA, C.K. Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente,

Instituto Florestal, 2005, 200p.

MOREIRA-BURGER D. e DELITTI W.B.C. 1999. *Fitomassa epigéa da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, Itapira – SP*. Revista Brasileira de Botânica, v.22(3), p.429-435.

OLSCHEWSKI R., BENÍTEZ P.C. 2005. *Secondary forests as temporary carbon sinks? The economic impact of accounting methods on reforestation projects in the tropics*. Ecological Economics v.55, p.380– 394.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. EGELSTON S., BUENDIA L., MIWA K., TODD N., TANABE K. (EDITORES). 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Instituto de Estratégias Ambientais Globais (IGES) para o IPCC. Japão.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. METZ B., DAVIDSON O., CONINCK H., LOOS M. E MEYER L. (Editores). 2005. *IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage*. Editora da Universidade de Cambridge, Reino Unido, 431 p.

RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA. Acesso dia 13 de outubro de 2008. http://www.rbma.org.br/anuario/mata_03_anosdedestruicao.asp

SILVER W.L., KUEPPERS L.M., LUGO A.E., OSTERTAG R., MATZEK V. 2004. *Carbon Sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture*. Ecological Applications v.14(4), p.1115-1127.