INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

EQUAÇÕES DE BIOMASSA E ESTOQUES DE CARBONO DE SEIS ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIOS MISTOS NO NOROESTE DO MATO GROSSO

Henrique Simionato Robortella

Manaus, Amazonas
Março, 2010

HENRIQUE SIMIONATO ROBORTELLA

EQUAÇÕES DE BIOMASSA E ESTOQUES DE CARBONO DE SEIS ESPÉCIES ARBÓREAS EM PLANTIOS MISTOS NO NOROESTE DO MATO GROSSO

JOÃO B. S. FERRAZ, Dr.
Orientador

ROBERTO M. L. SILVEIRA, Dr.
Co-orientador

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

Manaus, Amazonas

Março, 2010

R666 Robortella, Henrique Simionato
Equações de biomassa e estoques de carbono de seis espécies em plantios mistos no noroeste do Mato Grosso / Henrique Simionato Robortella. --- Manaus : [s.n.], 2010.
71 f. : il. color.

Dissertação (mestrado)-- INPA, Manaus, 2010
Orientador : João Baptista Silva Ferraz
Área de concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Compartimento arbóreo. 2. Reflorestamento. 3. Modelos alométricos. 4. Syzygium. 5. Tabebuia. 6. Cedrela. 7. Schinus. 8. Ceiba. 9. Amazônia. I. Título.

CDD 19. ed. 634.9

Sinopse:

Foram quantificados os estoques de biomassa e carbono das espécies *Syzygium cumini*, *Schinus terebinthifolius*, *Cedrela odorata*, *Tabebuia chrysotricha*, *Tabebuia aurea* e *Ceiba speciosa* em reflorestamento sobre pastagens degradadas. Aspectos de relações alométricas, teores de carbono e nitrogênio e biomassa dos compartimentos arbóreos foram analisados.

Palavras-chaves: Syzygium, Tabebuia, Cedrela, Schinus, Ceiba, modelos alométricos, reflorestamento, compartimento arbóreo, Amazônia

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao INPA e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, desde o pessoal da coordenação até a equipe da limpeza, pela oportunidade, infra-estrutura e convivência.

Á CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Peugeot/PSA, ONF-I e ONF-Brasil, representados por Marc Bocque, Thomas Dufour e Vespasiano Assumpção, pelo apoio na realização da pesquisa, na confiança na condução deste trabalho, disponibilização do reflorestamento, financiamento do trabalho e toda infra-estrutura oferecida na Fazenda. Aos Profs. Drs. Oscarlina L. S. Weber e Roberto Silveira da UFMT pelo apoio e incentivo.

Ao pessoal da Fazenda São Nicolau, representados por Paulo Von Ryn e Valéria Von Ryn pela colaboração. À equipe de coleta Fininho e Vovô e todos os outros empregados da Fazenda, pela convivência, amizade, ajuda nas coletas.

Ao meu orientador João Ferraz pela oportunidade, paciência, confiança, amizade e contribuição à minha carreira profissional.

Aos colegas do Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP (INPA) pelo apoio e amizade: Patrícia, Rosângela, Alex, Carol, Nonato, Tatiane, Giuliano e Jair. E à Tânia e Orlando do LTSP.

Aos meus queridos pais pelo amor e confiança, e aos meus irmãos e restante da família pela saudade.

Aos camaradas de república pela convivência e ensinamentos diários: Marcos, Peter e Ricardo.

A todos os meus amigos do CFT, mestrandos e doutorandos, calouros e veteranos, especialmente Giga, Tapioca, Massoca, Hada, Adriano, pelo apoio e pelas risadas, e Flavinha e Priscila pela afetividade.

Aos colegas e amigos dos demais cursos de pós-graduação do INPA, especialmente as meninas da casa 171, pela amizade, companhia, risadas e cuidados.

Enfim, a todo mundo que conviveu comigo nessa minha fase da vida, contribuindo direta ou indiretamente com o desenvolvimento deste trabalho: MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Em tempos de discussões sobre o aquecimento global e mudanças climáticas, projetos de restauração ambiental que visam a fixação do CO_2 atmosférico na biomassa vegetal são essenciais no combate ao aumento da concentração de gases de efeito estufa. Um método bastante eficiente para seqüestrar o carbono da atmosfera é por meio de reflorestamentos e quantificação da biomassa e do carbono destes estandes. Os objetivos deste trabalho foram desenvolver técnicas de quantificação da biomassa de diferentes espécies arbóreas, compreender a distribuição e armazenagem do carbono dentro da biomassa das árvores, identificar como as diferentes espécies alocam a bioenergia produzida pela fotossíntese e avaliar o potencial dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau. Tais reflorestamentos foram realizados no âmbito do Projeto Poço de Carbono – uma iniciativa da Peugeot/PSA com o apoio da ONF, UFMT e SEMA-MT. Trata-se de plantios florestais em grande escala, com 1.742 ha de pastagens antigas reflorestadas com quase 50 espécies florestais. Para alcançar o objetivo, foram testados diferentes modelos alométricos, e geradas equações específicas das espécies arbóreas *Syzygium cumini* (L.) Skeels – Jamelão, *Cedrela odorata* L. – Cedro-rosa, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex A.DC.) Standley – Ipê-amarelo-cascudo, *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore – Ipê-amarelo, *Schinus terebinthifolius* Raddi – Aroeira e *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna – Paineira. Também foram testados modelos alométricos que englobassem todas as seis espécies. Foram avaliadas diferentes variáveis independentes: DAP, altura total, altura de fuste e largura de copa, em relação à variável dependente: biomassa total. Na coleta das amostras, foram derrubados 10 indivíduos por espécie, com DAP mínimo de 10 cm e idades entre 7 e 10 anos, e mensurados o peso de cada um dos compartimentos (folhas, galhos finos, galhos grossos, troncos e raizes). Os compartimentos tiveram determinado seu teor de umidade, densidade e teores de carbono e nitrogênio. As equações de biomassa foram aplicadas ao Inventário Florestal Anual (2009) da Fazenda, e então foi quantificado o estoque de biomassa total das seis espécies no reflorestamento. A partir dos teores de carbono foi calculado o fator de conversão biomassa-carbono, para quantificação dos estoques de carbono (em CO_2-equivalente) das espécies. Foram encontrados como resultados as melhores equações de biomassa total para as espécies baseadas no modelo $B=a \cdot DAP^b$ (power function). As médias do teor de carbono foram, no geral, semelhantes entre compartimentos e entre espécie, com exceção da espécie *S. terebinthifolius*, que apresentou teor de carbono maior que as outras. A média geral de teor de carbono foi 47,2% da biomassa. Foi analisada a relação C/N dos compartimentos e encontrados baixos valores nas folhas, seguido de galhos finos e raízes e, os maiores valores nos troncos e galhos grossos. Os estoques de biomassa e carbono das seis espécies, que correspondem a 11,72% da área basal de todo reflorestamento de 10 anos e 1.742 ha, foram, respectivamente, 3.798 t e 1.799 t. As espécies foram também avaliadas quanto a distribuição da biomassa nos compartimentos e foram identificados três diferentes comportamentos entre as seis espécies, havendo aquelas que priorizam a alocação da biomassa na copa, e outras na madeira, e estas últimas, secundariamente na copa ou raízes. Por último foram criadas situações hipotéticas de plantio puro das espécies para que pudessem ser avaliadas quanto aos estoques de biomassa por hectare e comparadas com plantios puros de espécies mais comumente usadas. As espécies *S.cumini* e *S. terebinthifolius* apresentaram os melhores estoques por unidade de área. Concluiu-se que o reflorestamento de 10 anos das espécies estoca apenas 5% da biomassa total da floresta, sendo as principais estocadoras as espécies *Syzygium cumini* e *Schinus terebinthifolius*. Também foram identificadas diferentes arquiteturas entre as espécies e diferentes efeitos das variáveis independentes testadas sobre as equações específicas.

ABSTRACT

During this time of discussion about global warming and climate change, environmental restoration projects thought as a CO_2 sink in its plant biomass are essential in the fighting the increasing concentration of global warming greenhouse gases. One very eficient method to sequester atmosphere carbon is through reforestation and quantifying the resulting stands carbon. This work aimed at developing biomass quantification techniques of differents tree species, at understanding the within trees biomass carbon distribution and storage, at identifying how different species allocate biologic energy produced by photosynthesis and at assessing São Nicolau Farm reforestation potentiality. This reforestations were estabilished within the Forestry Carbon Sink Project – a Peugeot/PSA initiative with the support of ONF, UFMT and SEMA-MT. It concerns large scale forest plantations, recovering forests in 1.742 ha large old pastures with almost 50 forest species. To reach this goal, different allometric models were tested, and specific equations were generated for the tree species *Syzygium cumini* (L.) Skeels – Jambul, *Cedrela odorata* L. – Spanish Cedar, *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex A.DC.) Standley – Golden Trumpet Tree, *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore – Caribbean Golden Trumpet Tree , *Schinus terebinthifolius* Raddi – Brazilian Peppertreee and *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna – Silk Floss Tree. Allometric models for all the six species together were also tested. Different independent variables were evaluated: DBH, total height, trunk's height and canopy width against total biomass. Ten specimens per species, with minimum DAP of 10 cm and age between 7 and 10 years, were felled to collect the samples and the weight from each compartment (leaves, thin branches, thick branches, stem and roots) were measured. Each compartment's moisture content, density, nitrogen and carbon content was determined. The biomass equations were applied to the farm's Anual Forestry Inventary, and then the biomass total stock was quantified for six species in the reforestation. A biomass-carbon conversion factor was calculated based upon their carbon content, so to quantify the species carbon stock (in CO_2-equivalent). Among the results it was found that the best total biomass equations for the species were based on the model $B=a \cdot DBH^b$ (power function). Carbon content means were, generally, similar both within compartments and within species, except for *S. terebinthifolius*, whose carbon content was larger. The general mean carbon content was 47,2% of the biomass. After analysing the compartment's C/N ratio it was found low values for leaves, followed by thin branches and the highest values in stems and thick braches. The stocks of total biomass and carbon of the six species, which represents 11.72% of total basal area of the 10 years old reforestation and 1,742 ha, were, respectively, 3.798 t and 1.799 t. Each species biomass was assessed for its distribution on tree compartments, and three distinct behaviors were indentified between the six species. Some species allocated biomass preferencially in the canopy, others in the wood, and, this last group, secondarilly in canopies or roots. Finally, hypothetic situations of pure stands of the species were created, to be possible to compare their biomass per hectare with pure stands of the most commonly used planted species. The species *S. cumini* and *S. terebinthifolius* presented the best stocks per unit area. The conclusion is that the 10 years old reforestation these species stocks only 5% of total tropical forest biomass, and the main stocks is related to the species *Syzygium cumini* and *Schinus terebinthifolius*. Different effects of the tested independent variables on the specific equations and different tree architectures among species were also identified.

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: Equações alométricas para a estimativa da biomassa total de seis espécies arbóreas

Tabela 1. Densidade relativa e Área Basal relativa das espécies selecionadas para o estudo nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu – MT). Base de dados Inventário 2008.....14

Tabela 2. Amplitude das classes diamétricas arbóreas consideradas para a coleta das amostras.....15

Tabela 3. Modelos almétricos testados.....17

Tabela 4. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Tabebuia aurea* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....20

Tabela 5. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Cedrela odorata* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....21

Tabela 6. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Schinus terebinthifolius* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....21

Tabela 7. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Syzygium cumini* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....22

Tabela 8. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Ceiba speciosa* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....22

Tabela 9. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Tabebuia chrysotricha* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.....23

Capítulo II: Estoque de biomassa e carbono de seis espécies arbóreas em plantios mistos da Fazenda São Nicolau – Cotriguaçu, MT

Tabela 1. Densidade relativa e Área Basal relativa das espécies selecionadas para o estudo nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu – MT). Base de dados Inventário 2008.....40

Tabela 2. Equações de biomassa utilizada para as espécies do reflorestamento da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT) e parâmetros de precisão.....41

Tabela 3. Teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das espécies arbóreas. Teores seguidos do intervalo de confiança da média com 95% de confiança. Letras minúsculas indicam semelhanças estatísticas entre os compartimentos da mesma espécie (Tukey, $p<0,05$).....44

Tabela 4. Situações de cultivo e biomassa das seis espécies arbóreas dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau.....46

Tabela 5. Estoques de biomassa e de carbono das espécies da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....46

Tabela 6. Acúmulo de biomassa das espécies em situações hipotéticas de plantio homogêneo em espaçamentos 3x3 ($9m^2$) e 3x2 ($6m^2$).....47

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: Equações alométricas para a estimativa da biomassa total de seis espécies arbóreas

Figura 1. Limites da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....9

Figura 2. Limite dos talhões e os anos de plantio da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....12

Figura 3. Localização das parcelas permanentes nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....13

Figura 4. Relação entre DAP e Biomassa total das espécies arbóreas e o grau de correlação entre as variáveis segundo o teste de correlação de Pearson.....19

Figura 5. Transformação logarítmica das espécies *T. aurea*, *C.odorata* e *S. terebinthifolius*, do modelo exponencial (iv) $P=a \cdot D^b$, à direita, para o modelo logarítmico (vi) $\ln P=a+b \cdot \ln D$, à esquerda. A linha representa a curva de estimativas do modelo e os pontos representam os valores reais observados de biomassa total ou ln(B).....24

Figura 6. Transformação logarítmica das espécies *S. cumini*, *C. speciosa* e *T.chrysotricha*, do modelo exponencial (iv) $P=a \cdot D^b$, à direita, para o modelo logarítmico (vi) $\ln P=a+b \cdot \ln D$, à esquerda. A linha representa a curva de estimativas do modelo e os pontos representam os valores reais observados de biomassa total ou ln(B).....25

Figura 7. Desvio absoluto (δB) dos principais modelos testados das espécies.....27

Figura 8. Incerteza da estimativa, à 95% de confiança, dos principais modelos testados das espécies.....28

Capítulo II: Estoque de biomassa e carbono de seis espécies arbóreas em plantios mistos da Fazenda São Nicolau – Cotriguaçu, MT

Figura 1. Limites da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....35
Figura 2. Limite dos talhões e os anos de plantio da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....38
Figura 3. Localização das parcelas permanentes nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).....39
Figura 4. Distribuição percentual da biomassa total nos compartimentos arbóreos de seis espécies dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau.....48

SUMÁRIO

RESUMO v

ABSTRACT vi

LISTA DE TABELAS vii

LISTA DE FIGURAS ix

INTRODUÇÃO GERAL 1

OBJETIVO GERAL 4

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

Capítulo I. Equações Alométricas para a Estimativa da Biomassa Total de Seis Espécies Arbóreas 5

INTRODUÇÃO 5
MATERIAL E MÉTODOS 9
RESULTADOS 19
DISCUSSÃO 26
CONCLUSÃO 30

Capítulo II. Estoques de Biomassa e Carbono de Seis Espécies Arbóreas em Plantios Mistos da Fazenda São Nicolau – Cotriguaçu, MT 31

INTRODUÇÃO 31
MATERIAL E MÉTODOS 35
RESULTADOS 44
DISCUSSÃO 49
CONCLUSÃO 55

CONCLUSÃO GERAL 56

BIBLIOGRAFIA 57

ANEXOS 64

INTRODUÇÃO GERAL

Em tempos de preocupação mundial quanto ao aquecimento da atmosfera e a ameaça de mudanças climáticas radicais por todo o globo terrestre, a humanidade, representada pelos governos dos países e órgão responsáveis, a iniciativa privada e as grandes empresas transnacionais, buscam soluções para amenizar a responsabilidade antrópica pelos recentes eventos.

Importantes trabalhos (Man Yu, 2004; Mastrandrea e Schneider, 2005; IPCC, 2007) apontam os últimos séculos, pós-revolução industrial, como período de elevação anormal das concentrações de gases de efeito estufa (GEE's) na atmosfera, causando o aumento da temperatura média global, que segundo Fearnside (2006), já aumentou em 0,7ºC na superfície da terra. Ambos os fatos apresentam influência direta sobre a produtividade vegetal, como o favorecimento da assimilação de biomassa e carbono de florestas tropicais, devido à fertilização da atmosfera por CO_2 e seus efeitos sobre a fotossíntese (Pacheco e Helene, 1990; Pereira *et al.* 2005).

As principais conseqüências da Revolução Industrial (a partir de 1850) e da subseqüente mudança do modelo de desenvolvimento econômico mundial foram a grande dependência da queima de combustíveis fósseis e a derrubada de florestas, dois grandes poços de carbono da Terra. Intensificados a partir de 1850, a queima de combustíveis fósseis é, hoje, responsável por 72% das emissões de CO_2 para a atmosfera, enquanto a mudança no uso da terra, principalmente o desmatamento, responsável por 18% das emissões (IPCC, 2007). Em contrapartida, no Brasil, o desmatamento é responsável por 75% das emissões do país (Fearnside, 2009).

Considerando essas duas principais frentes de esforços contra o aquecimento e a emissão de GEEs, as ações de manutenção ou sequestro de CO_2 na biomassa vegetal é uma ferramenta estratégica. Estocagem de carbono representa o principal serviço ambiental da floresta Amazônica, portanto evitar o desmatamento da floresta é essencial (Kirby e Potvin, 2007; Fearnside, 2008).

Reflorestamentos de áreas degradadas, além da absorção de CO_2, possuem benefícios como manutenção e proteção do solo e dos recursos hídricos, estabilização microclimática e aumento da complexidade da estrutura vegetal e da biodiversidade (Parrota ***et al.*** 1997). E até

mesmos plantios comerciais (heterogêneos ou não) direcionados à queima da biomassa para geração de energia favorece a redução da emissão por substituição de combustíveis fósseis (IPCC, 2003; Hennigar *et al*, 2008), além da possibilidade de comercialização de créditos de carbono.

No contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), então estabelecido pelo Protocolo de Quioto em 1997 para corroborar com o cumprimento das metas de diminuição da emissão de GEEs pelos países do Anexo I e incentivar o desenvolvimento sustentável dos países não incluídos no Anexo I, os plantios florestais têm um papel fundamental, sendo seqüestro de carbono seu objetivo principal ou mesmo secundário.

Um segundo mecanismo contra a emissão de GEE's que vem sendo discutido é a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) que tem por objetivo a geração de créditos em áreas conservadas, que são poços de CO_2 mais eficientes se evitada a degradação do ambiente (Fearnside, 2009).

E para que empreendimentos desta natureza sejam viabilizados e eficientes são necessários a valorização do crédito de carbono e o conhecimento científico quanto ao ciclo e comportamento do carbono, nas árvores, plantios e florestas.

Enquanto a valorização dos créditos depende da demanda do mercado por este produto, pesquisas científicas, assim como esta, buscam o entendimento do comportamento das árvores quanto à estocagem de carbono na biomassa dos compartimentos arbóreos, e, ao mesmo tempo, o aperfeiçoamento de técnicas de quantificação dos estoques totais, para uso no manejo dos reflorestamentos.

Para tanto, esta dissertação foi dividida em dois capítulos. No primeiro capítulo foram testadas técnicas estatísticas para desenvolvimento de equações de biomassa (alometria) para diferentes espécies arbóreas presente nos reflorestamentos (sendo seis incluídas nesse estudo), além de equações de biomassa para o conjunto das espécies, incluindo a densidade como variável. No segundo capítulo, os estoques totais de biomassa e carbono das espécies selecionadas são quantificados, utilizando-se do inventário anual, sendo avaliado seu potencial de recuperação de área e seqüestro de carbono. Neste último também é discutido o comportamento das espécies quanto aos teores de carbono, a relação C/N e a participação da biomassa de cada compartimento.

O Projeto Poço de Carbono, do qual este trabalho faz parte, foi uma iniciativa da Peugeot/PSA, com apoio da ONF (Office National dês Forêts), ONF-Br (filial do Brasil), UFMT (Universidade Federal do Mato Grosso) e SEMA-MT (Secretaria de Estado do Meio Ambiente), visando a restauração florestal de pastagens degradadas na região Amazônica, explicitando a preocupação ambiental da empresa e seu compromisso pioneiro nas ações concretas para a redução dos GEE's, de acordo com a nova tendência mundial e exigências do mercado internacional.

A expectativa é que os resultados deste trabalho possam colaborar na utilização das espécies estudadas em outros reflorestamentos, sejam eles com os mesmos objetivos, ou não, e então colaborar com o desenvolvimento de técnicas de manejo, para valorização e expansão de reflorestamentos voltados para questões ambientais, principalmente na região conhecida como o Arco do Desmatamento, local onde foi realizado o presente trabalho.

OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de fixação de carbono atmosférico na biomassa de seis espécies arbóreas em plantios florestais sobre áreas degradadas por pastagens no sul da região Amazônica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Testar modelos alométricos para estimar biomassa de seis espécies arbóreas (*Tabebuia chrysotricha*, *Tabebuia aurea*, *Schinus terebinthifolius*, *Ceiba speciosa*, *Cedrela odorata*, *Syzygium cumini*) a partir de dados biométricos (altura total, diâmetro) das árvores (Capítulo I);

2. Quantificar os estoques de biomassa do plantio das seis espécies arbóreas por meio de modelos alométricos gerados em inventário florestal anual (Capítulo II);

3. Avaliar o comportamento das espécies quanto ao acúmulo de biomassa em cada um dos compartimentos, gerando informações técnicas que colaborem com iniciativas de reflorestamento para recuperar áreas degradadas por meio da seleção adequada de espécies de acordo com os objetivos do projeto (Capítulo II);

4. Avaliar as espécies e compartimentos quanto ao teor de carbono e relação C/N, e quantificar o seqüestro de carbono (em toneladas de CO_2-equivalente) realizado pelas espécies selecionadas (Capítulo II);

5. Avaliar as espécies do estudo quanto ao seu potencial em reflorestamento para acúmulo de biomassa por hectare (Capítulo II).

<u>Capítulo I.</u> Equações Alométricas para a Estimativa da Biomassa Total de Seis Espécies Arbóreas

INTRODUÇÃO

A estimativa de biomassa em formações vegetais (sejam florestas primárias, secundárias ou plantios florestais) e nos compartimentos arbóreos é bastante úteis em estudos de estrutura florestal, produtividade, estoque e fluxo de carbono, estoques e fluxos de nutrientes e estudos da arquitetura arbórea (Fuwape *et al.*, 2001; Chave *et al.*, 2003; Cole e Ewel, 2006; Navar, 2008). Estimar biomassa é necessidade primordial em estudos de redução da emissão de carbono por queimadas e processos industriais, além de necessário nos cálculos de rendimento de energia produzida pela queima de material vegetal como alternativa para a queima de combustíveis fósseis (Zianis e Mencuccini, 2004; Hennigar, 2008; Fearnside 2009).

A ferramenta mais utilizada para estimativas de biomassa de uma árvore é a alometria, palavra formada pelos radicais gregos “allos” (outra) e “metron” (medida), i.e., a determinação de certa característica por meio de outra medida do indivíduo, de forma indireta. É o crescimento de uma parte do organismo em relação ao crescimento do organismo inteiro ou parte. Para isso, é necessário o conhecimento de variáveis que predirão com maior representatividade a variável de interesse, no caso a biomassa arbórea, que para medição direta é necessária a derrubada e pesagem da árvore.

Portanto, a uma decisão importante é a escolha das variáveis a serem utilizadas pelos modelos alométricos (DAP, altura total, entre outras), que servirão de base para determinar o parâmetro desejável (biomassa). Segundo Chaves et al. (2005), a biomassa aérea de uma árvore com determinado DAP é proporcional ao produto da área basal da árvore, sua densidade específica do tronco e sua altura.

A partir disso, estudos indicam que o DAP, representando a área basal de uma árvore, é uma variável com forte relação nas estimativas de biomassa total e volume, além de ser uma medida de fácil obtenção e grande confiabilidade. A variável altura total da árvore melhora o desempenho do modelo com ganhos de até 5% nos parâmetros de precisão, mas ao mesmo tempo é onerosa e sujeita a maiores erros de medição (Couto e Bastos, 1987; Higuchi *et al.*,

1998; Sanquetta *et al.,* 2003). A densidade específica é outra variável de suma importância, indica a quantidade de matéria presente por unidade de volume da madeira, principal componente da biomassa arbórea. Essa variável é essencial em estudos de biomassa de florestas que incluem diversas espécies com grande amplitude de valores de densidade (Brown *et al.,* 1989; Overman *et al*., 1994; Nelson *et al.* 1999).

West *et al.* (1999) encontraram um modelo de boa representatividade do comportamento da biomassa em relação apenas ao DAP. Este trabalho que testou o modelo não-linear "power function" ($Y=a \cdot X^b$) e encontrou uma relação geral biomassa aérea/DAP das árvores variando numa escala de 8/3, i.e., coeficiente *b*=2,67. Zianis e Mencuccini (2004), afirmam que a média do coeficiente *b* em indivíduos arbóreos é 2,32. Em estudos de biomassa aérea em florestas secundárias (Nelson *et al.,* 1999) encontraram valor próximo do coeficiente *b*=2,37, e reforça a aplicabilidade deste modelo específico para árvores, pois o tronco, principal contribuidor da biomassa arbórea total, com forma fusiforme assume forma cada vez mais cilíndrica com o aumento da idade da árvore.

Além das principais, outras variáveis já foram estudadas quanto à sua contribuição nas estimativas de biomassa arbórea, como altura de fuste, altura de copa e largura de copa (Santos *et al.* 2001). Outra variável utilizada é o volume, que estima a biomassa por meio de fatores de conversão do volume em biomassa (Ferreira *et al*., 2004; Schneider *et al*., 2005). Ao final, a decisão quanto às variáveis a serem utilizadas nos modelos para estimativa de biomassa baseia-se na precisão desejada do modelo e nos esforços e custos de medição no campo, além da viabilidade de obtenção das variáveis preditoras.

Adicional a precisão da medição da variável independente (preditora), outras premissas devem ser obedecidas pelas equações alométricas desenvolvidas (Sokal e Rohlf, 1997). Entre elas, há a necessidade homocedasticidade da variância do resíduo das estimativas, i.e., a variância do erro deve ser constante por todo intervalo da regressão. No entanto, segundo Brown *et al*. (1989), essa variância aumenta proporcionalmente quanto maior tamanho das árvores, sendo essa proporção de (DAP^4) ou (DAP^4H^2), quando incluída a altura total. Para então resolver tal problemática, existe a possibilidade de transformação das variáveis, entre outras a transformação logarítmicas, ajustando-as então a uma reta que possua a propriedade homocedástica (Brown *et al*.,1989; Chave *et al.,* 2005).

Quanto aos modelos alométricos utilizados nas estimativas de biomassa de florestas da região Amazônica, estudos com modelos lineares e lineares log-ajustadas (Silva e Araújo, 1984; Higuchi *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 2007) apresentaram boas estimativas, de acordo com determinados parâmetros de qualidade utilizados, como o coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão da média, entre outros. Até então, os principais trabalhos relacionados à estimativa de biomassa arbórea em plantios florestais no Brasil foram realizados com espécies de interesse econômico, como *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp. e *Acacia* spp. para aproveitamento da madeira. Outros trabalhos com espécies menos importantes estudaram a biomassa de *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* e *Hyeronima alchorneoides* (Cole e Ewel, 2006) e *Gmelina arborea* e *Nauclea diderrichii* (Fuwape *et al.*, 2001).

A metodologia de amostragem varia entre os trabalhos. Na tomada de decisão do número de árvores derrubadas para o método direto (corte e pesagem), muitos trabalhos utilizam grande amostragem (Couto e Bastos, 1987; Schneider *et al.*, 2005; Thomas *et al.*, 2006), distribuídas por toda classe de DAP existente, garantindo maior aplicabilidade da equação desenvolvida. Por outro lado, estudos com menor número de amostras também obtiveram bons índices de qualidade, como o coeficiente de determinação elevado (Schumacher e Poggiani, 1993; Schumacher e Caldeira, 2001; Caldeira *et al.*, 2003; Ferreira *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2004; Schumacher *et al.*, 2008), amostrando entre 5 a 12 árvores no total, separadas por classes diamétricas ou tratamentos.

Representar bem todas as classes de DAP é uma maneira de obter-se uma equação alométrica de qualidade, porém, a limitação de indivíduos com maiores DAP em plantios florestais e a grande dificuldade de amostrar estes indivíduos em meio à floresta natural dificultam a presença de amostragem das maiores classes de DAP. Neste caso, Zianis e Mencuccini (2004) sugerem maior amostragem das menores classes de DAP que favorecem o desempenho dos modelos por apresentarem menores erros na estimativa. De qualquer forma, a escolha do número de árvores a serem abatidas deve levar em conta também o trabalho envolvido na derrubada e pesagem de árvores. Geralmente são fixados os custos, em relação a um valor desejado e determinado o desvio, após a coleta de dados (Silva, 2007).

O objetivo deste trabalho foi, então, testar diversas variáveis coletadas em campo, como DAP, altura total, largura de copa e altura de fuste, para a estimativa de biomassa de seis espécies arbóreas pouco utilizadas em plantios comerciais, mas com grande importância em reflorestamentos para recuperação de áreas e também aproveitamento de outros produtos

florestais como carbono, madeira e frutos. As espécies alvos deste trabalho são *Tabebuia chrysotricha, Tabebuia aurea, Ceiba speciosa, Cedrela odorata, Syzygium cumini, Schinus terebinthifolius.*

Neste trabalho, representou-se da melhor maneira todas as classes de DAP de ocorrência em cada uma das espécies, além da significância da inclusão de cada uma das variáveis para os modelos alométricos de biomassa total para as diferentes variáveis. Espera-se que as variáveis respondam de forma diferenciada em cada uma das espécies, uma vez que estas apresentam arquiteturas arbóreas distintas. Para identificar tal efeito, avaliou-se os valores de R^2, erros percentuais das estimativas em relação à media, caracterizando o intervalo de confiança das estimativas, a 95% de confiança e a média do desvio absoluto, em relação ao valor real observado, descrito por Overman *et al*. (1994).

O valor econômico e ecológico das espécies deste estudo, a separação das árvores entre seus componentes morfológicos e a possibilidade da aplicação das equações de biomassa desenvolvidas em outros reflorestamentos torna este estudo uma fonte de informação bastante rica no processo de conhecimento da constituição da biomassa e quantificação de carbono como produto florestal, para projetos no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

MATERIAL E MÉTODOS

Área do estudo

O trabalho foi realizado nos reflorestamentos localizados na Fazenda São Nicolau (9º51'25''S; 58º15'04''O), no município de Cotriguaçu, ao noroeste do Estado de Mato Grosso. A propriedade cobre uma área aproximada de 10.000 ha. São 7.000 ha de floresta natural (destes, 1.781,3 ha da Reserva Particular do Patrimônio Nacional Pegeout/ONF-Br, criada em 2009), 1.000 ha mata ciliar degrada (Áreas de Proteção Permanente – APPs) e 1.742 ha de reflorestamento e 250 ha de áreas de regeneração natural (testemunhas).

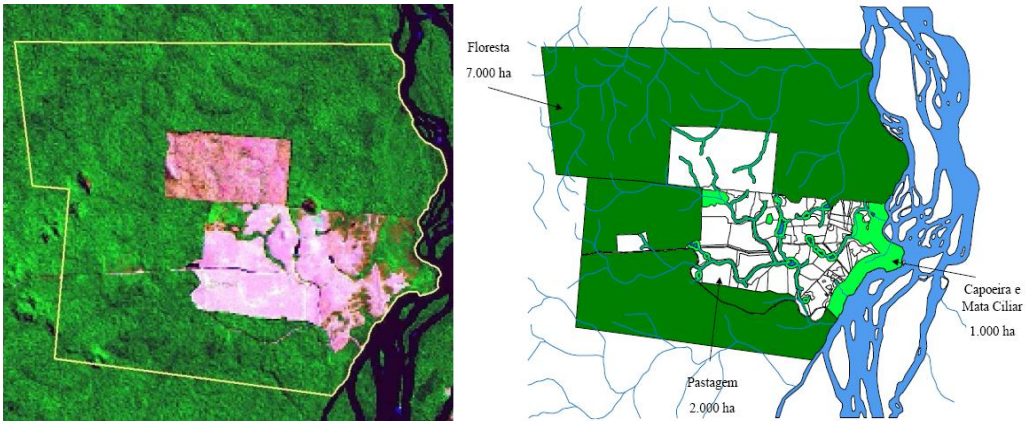


Figura 1. Limites da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

A área da fazenda está localizada na região do "Arco do Desmatamento" da Amazônia, perto da fronteira entre os Estados do Mato Grosso e Amazonas, às margens do Rio Juruena, afluente direto do Rio Amazonas. Essa região é zona de transição edafoclimática entre cerrado e floresta amazônica (Rondon, 2006).

Condições edafoclimáticas

A região é caracterizada por baixa amplitude de temperaturas e média anual de 25ºC. A precipitação média anual é de 2.300 mm. O clima, segundo a classificação KÖPPEN-GEIGER, é do tipo Aw - Clima Tropical com Estações Secas (Peel *et al.*, 2007), sendo as estações mais secas entre os meses de maio a outubro (Verneyere, 2007).

O relevo é marcado por altitudes entre 200 e 250 m. O solo repousa sobre uma matriz granítica de formação pré-cambriana (Verneyere, 2007). Destacam-se os Latossolos

Amarelos, distróficos, de textura argilosa e Argissolos Amarelos, distróficos, com textura arenosa. Há ocorrência de solos hidromórficos (alagados) nas margens dos cursos d'água e margens do Rio Juruena (APPs).

Os solos da região apresentam boas características físicas; no entanto, são geralmente ácidos, com moderada concentração de alumínio trocável, apresentando baixa CTC (Capacidade de troca catiônica) e são deficientes em cálcio e fósforo, havendo predominância de Latossolos profundos, bem drenados e planos (Rondon, 2006).

Vegetação

Os limites da fazenda situam-se em região de contato entre duas formações vegetais: Floresta Ombrófila Densa (predominante na Fazenda São Nicolau) e Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 1992). É região de ocorrência natural de espécies de copa sempre-verde e semi-deciduais, mas com a influência do bioma cerrado (ao sul) há também ocorrência de espécies deciduais.

Segundo Nogueira *et al.* (2008), a floresta primária da Amazônia sulina é caracterizada por árvores de troncos mais curtos e maiores estoques de biomassa nas copas, quando comparada com árvores da Amazônia central. O mesmo estudo apresenta um estoque de biomassa da floresta primária da região de estudo de 330 $t \cdot ha^{-1}$ de biomassa abaixo+acima do solo.

Histórico da área

A fazenda, nos anos 70, então nomeada de Fazenda Ariel, foi base para colonização da região, acolhendo pessoas de outros Estados, que foram atraídos pela oferta de terras no Mato Grosso. Nessa época, o Estado apresentava forte crescimento econômico devido à expansão das áreas de pastagem para criação de gado bovino de corte.

As áreas de pastos na propriedade eram bastante heterogêneas, de acordo com a época da queimada e seu preparo para o gado. As áreas mais antigas foram queimadas entre os anos de 1981 e 1984, quando passaram a receber o gado. O resto das pastagens era dividido entre áreas com formação das pastagens nos anos de 1987, 1992 e 1994, com um total de 750 ha, com braquiária (*Brachiaria bryzantha*) de baixa produtividade. As pastagens mais recentes

formadas em 1998 (530 ha) apresentavam bastante madeira morta e forte ocorrência de regeneração natural.

Em 1998, a Fazenda foi adquirida pela Peugeot/PSA, que idealizava realizar um projeto de restauração ambiental que objetivava contribuir para a fixação de CO_2 atmosférico na biomassa florestal. Para tal, foi estabelecida inicialmente uma parceria com a ONF (Office National des Forêts) e a ONF-Br (filial do Brasil), e em seguida, com a UFMT (Universidade Federal do Mato Grosso) e a SEMA-MT (Secretaria de Estado do Meio Ambiente – Mato grosso). O projeto apresentava como objetivos secundários, o aumento da biodiversidade, o desenvolvimento de técnicas adaptadas ao contexto econômico local (silvopastoreio) e integração do projeto com as populações locais. O projeto tem duração prevista de 40 anos.

Com o surgimento do projeto Poço de Carbono em 1998, iniciaram-se os plantios em 1999 e se alongaram até 2002, totalizando 1.742 ha reflorestados nos 4 anos. Os plantios realizados em 1999/2000 foram feitos em espaçamentos 5x4, utilizando inicialmente cerca de 50 espécies inicialmente (*Tectona grandis*, *Ficus* sp., *Tabebuia* sp., *Simarouba amara*, *Spondias mombin*, *Cordia goeldiana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Schizolobium amazonicum*, *Jacaranda* sp., *Cariniana* sp., *Bixa orellana*, *Guazuma ulmifolia*, entre outras). Apenas a Teca (*Tectona grandis*) foi plantada em plantios puros.

Nos anos seguintes, outros espaçamentos foram utilizados, assim como outras combinações de espécies. Nos plantios de 2000/2001 e 2001/2002 foram utilizados espaçamentos 3x3 e 3x2, respectivamente, com espécies que apresentaram melhores taxas de sobrevivência em relação ao primeiro ano do plantio. Nas atividades de plantio de 2002/2003, o espaçamento utilizado foi 6x3 com preferência ao plantio de Figueira-branca (*Ficus* sp.).

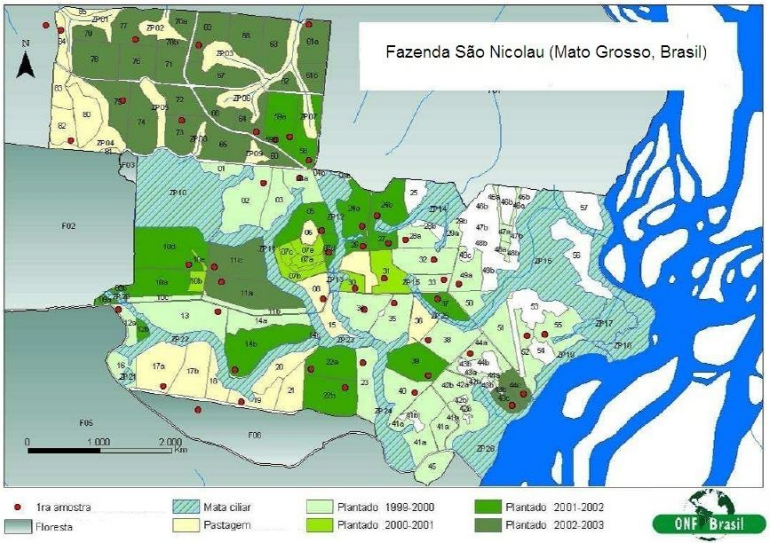


Figura 2. Limite dos talhões e os anos de plantio da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

As atividades de preparo do solo, no momento dos plantios, foram o gradeamento e fertilização nas covas com 60g de adubo N:P:K na formulação 4-30-10. Outras atividades de manutenção pós-plantio foram o gradeamento entrelinha (4x ao ano) e manutenção manual com roçadeira costal (4x ao ano) e enxada (2x ao ano).

Durante os primeiros anos, ocorreu forte competição com o capim, principalmente, a braquiária (*Brachiaria bryzantha*) e o colonião (*Panicum maximum*). Para controlar a regeneração (pasto + arbustos) foram introduzidas 3.000 cabeças de gado na fazenda. O resultado foi positivo e o objetivo é, ainda hoje, eliminar o gado, quando os plantios apresentarem fechamento das copas e suprimirem a regeneração do capim.

A partir de 2003, inventários florestais começaram a ser realizados, anualmente, por meio de parcelas permanentes. Nesse mesmo ano, 4 anos após os primeiros plantios, foi realizada a primeira campanha de coleta de indivíduos arbóreos para estimativa de biomassa e medição do estoque de carbono na fazenda, pelo método destrutivo das seis principais espécies.

A intenção do Projeto Poço de Carbono Peugeot/ONF é fazer o monitoramento do balanço de carbono na fazenda, de acordo com especificações de MDL, durante os 40 anos de projeto, em períodos de 5 em 5 anos, com coletas destrutivas nesses anos.

Inventário florestal

O inventário florestal é realizado por meio de parcelas permanentes, com dimensões de 20x50m, distribuídas por todos os talhões, abrangendo os plantios florestais e as áreas de regeneração natural. Foi estabelecido o número de parcelas de acordo com a área utilizada em cada plantio: plantios de 1999 (91 parcelas permanentes), plantios de 2000 (11 parcelas), 2001 (78 parcelas), 2002 (101 parcelas), além de áreas de regeneração natural (20 parcelas).

São 301 parcelas, com 30,1 ha amostrados dos 1.992 ha do reflorestamento. Desconsiderando as áreas de testemunha com regeneração natural (250 ha), são 281 parcelas, com um total de 28,1 ha amostrados de 1.742 ha de plantio efetivo.

Figura 3. Localização das parcelas permanentes nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

Espécies selecionadas

As espécies foram selecionadas segundo a densidade relativa dos indivíduos plantados nas parcelas do inventário florestal do ano de 2008 da Fazenda São Nicolau. São cerca de 2 milhões de árvores plantadas nos 1.742 ha. As seis espécies selecionadas para o estudo contemplam 17,05 % das árvores presentes nas 301 parcelas permanentes do plantio e um total de 11,72% da área basal total do reflorestamento. As espécies, densidade relativa e área basal relativa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade relativa e Área Basal relativa das espécies selecionadas para o estudo nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu – MT). Base de dados Inventário 2008.

Espécies	Família	DR (%)	AB (%)
Tabebuia chrysotricha (Mart. ex A.DC.) Standley	Bignoniaceae	4,64	1,42
Tabebuia áurea (Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Bignoniaceae	3,20	0,48
Schinus terebinthifolius Raddi	Anacardiaceae	2,42	0,99
Ceiba speciosa (A.St.-Hil.) Ravenna	Malvaceae	2,34	5,59
Cedrela odorata L.	Meliaceae	2,32	0,72
Syzygium cumini (L.) Skeels	Myrtaceae	2,12	2,52

DR(%) = Densidade relativa das espécies das árvores plantadas; **AB(%)** = Área Basal relativa das espécies no reflorestamento.

Coleta das amostras

A seleção das amostras foi feita também com base no Inventário 2008 da Fazenda São Nicolau. Buscou-se determinar o intervalo de DAP (diâmetro à altura do peito – 1,30m) de cada uma das espécies. Para tal, assumiu-se, primeiramente, CAP – circunferência à altura do peito mínima de 32cm (DAP_{min} de 10cm). Para a espécie *Tabebuia chrysotricha*, assumiu-se CAP_{min} de 16cm (DAP_{min} de 5cm), devido ao seu menor desenvolvimento. A seguir, com a ajuda do inventário, cada espécie teve identificado a $CAP_{máx}$ de ocorrência nos indivíduos, sendo então identificado os intervalos de CAP de cada uma das espécies.

O intervalo encontrado para cada espécie foi então dividido em 5 classes de CAP (DAP) e coletados 2 indivíduos por classe para cada espécie, totalizando 10 indivíduos por espécie, e 60 árvores no total. A Tabela 2 apresenta as classes estipuladas para a seleção das árvores de cada espécie.

Tabela 2. Amplitude das classes diamétricas arbóreas consideradas para a coleta das amostras.

Syzygium cumini (Jamelão)

CAP_{max}= 68 cm

CAP_{min}= 32 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	32-40	36
2	40-48	44
3	48-56	52
4	56-64	60
5	64-72	68

Amplitude de classe= 8 cm

Schinus terebinthifolius (Aroeira)

CAP_{max}= 43 cm

CAP_{min}= 32 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	32-35	33,5
2	35-38	36,5
3	38-41	39,5
4	41-44	42,5
5	44-47	45,5

Amplitude de classe= 3 cm

Cedrela odorata (Cedro-rosa)

CAP_{max}= 70 cm

CAP_{min}= 34 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	32-40	36
2	40-48	44
3	48-56	52
4	56-64	60
5	64-72	68

Amplitude de classe= 8 cm

Tabebuia aurea (Ipê-amarelo)

CAP_{max}= 65 cm

CAP_{min}= 32 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	32-38	35
2	38-44	41
3	44-50	47
4	50-56	53
5	56-62	59

Amplitude de classe= 6 cm

Ceiba speciosa (Paineira)

CAP_{max}= 135 cm

CAP_{min}= 32 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	32-52	42
2	52-72	62
3	72-92	82
4	92-112	102
5	112-132	122

Amplitude de classe= 20 cm

Tabebuia chrysotricha (Ipê-cascudo)

CAP_{max}= 35 cm

CAP_{min}= 16 cm

classe CAP	intervalo	CAP médio
1	16-20	18
2	20-24	22
3	24-28	26
4	28-32	30
5	32-36	34

Amplitude de classe= 4 cm

No processo da coleta (derrubada), foram mensurados o CAP, altura total, altura do fuste (primeira ramificação, desconsiderando galhos pequenos), largura da copa, circunferência da base (0%) e circunferência a 100% do fuste. A pesagem da biomassa verde foi feita de acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Os compartimentos folhas, galhos finos (Ø<10cm), galhos grossos (Ø≥10cm), troncos e raízes (Ø≥2mm) foram separados e pesados individualmente.

As raízes foram retiradas com ajuda de um trator com pá escavadeira, que escavava as laterais delas antes de levantá-la, e então era seguido de coleta manual das raízes no solo. Para gerar os modelos, foi considerada a soma de todos os compartimentos, os valores segmentados visavam a análise da participação de cada compartimento na biomassa total.

Para obter a biomassa seca dos compartimentos, foram tomadas 3 amostras por compartimentos das árvores para as análises de umidade(teor de matéria seca) e densidade básica dos compartimentos (exceção das folhas).

Análises físicas

i. **Teor de Umidade (U%)**: foi feita a pesagem do material fresco no local da coleta e, após secagem a 105ºC por cinco dias em estufa de ventilação forçada, foi calculada a porcentagem de matéria seca (MS) na amostra dividindo-se peso seco pelo peso úmido.

$$U(\%) = \frac{Peso\ úmido - Peso\ seco}{Peso\ úmido}$$

$$MS\ (g) = Peso\ úmido\ X\ (100 - U)/100$$

ii. **Densidade básica da madeira (g·cm^{-3})**: foi utilizado o método de deslocamento de água (ASTM, 2002), no local de coleta, seguido da secagem a 105ºC por cinco dias em estufa de ventilação forçada. O valor final da densidade é calculado dividindo o peso seco da amostra pelo volume de água por ela deslocado.

$$Db = \frac{Peso\ seco\ (g)}{Volume\ (ml)}$$

odelos alométricos

Os modelos alométricos testados para biomassa total das árvores estão listados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Modelos almétricos testados.

MODELOS ALOMÉTRICOS	
i.	$\mathbf{P = a + b \cdot D}$
ii.	$\mathbf{P = a + b \cdot (D^2 \cdot H)}$
iii.	$\mathbf{P = a + b \cdot D + c \cdot H}$
iv.	$\mathbf{P = a \cdot D^b}$
v.	$\mathbf{P = a \cdot (D^2 \cdot H)^b}$
vi.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot lnD}$
vii.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot ln(D \cdot H)}$
viii.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot lnD + c \cdot lnH}$
ix.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot lnD + c \cdot ln(Lc)}$
x.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot lnD + c \cdot ln(Lc/H)}$
xi.	$\mathbf{lnP = a + b \cdot lnD + c \cdot ln(Hf/H)}$

P = peso da biomassa seca total (kg), **D** = diâmetro a altura do peito (cm), **H** = altura total da árvore (m), **Lc** = largura da copa, **Hf** = altura do fuste até a primeira ramificação significativa, e, **a** = coeficiente β_0, e **b** = coeficiente β_1,das equações alométricas.

Critérios de seleção dos modelos alométricos

Os indicadores de qualidade da estimativa utilizados na seleção dos modelos foram:

i. **Coeficiente de determinação (R^2)**: indica quanto da variação dos dados o modelo explica com as variáveis utilizadas. Quanto mais próximo de um, mais eficiente o modelo.

$$R^2 = \sum \frac{(VE - Xobs)^2}{(VO - Xobs)^2}$$

Onde:

VE = valor estimado pelo modelo, VO = valor observado/real e Xobs = média dos valores observados/reais.

ii. **Distribuição de resíduos**: indica a consistência do modelo. As distribuições devem simétricas e sua variância deve ser homogenia (homocedástica) para toda a amplitude de DAP utilizada.

iii. **Incerteza (IC - %)**: é o erro médio percentual das estimativas em relação à média estimada, para mais e para menos. Caracteriza o intervalo de confiança da estimativa. Foi estimada de acordo com a fórmula contida no guia para inventário nacional de emissões de GEE's do IPCC (IPCC 2006). Foi calculado com base na distribuição t-student (valor t_{tab} com 95% confiança e GL=n-1).

$$\boldsymbol{Incerteza}(\%) = \frac{\boldsymbol{t}.\boldsymbol{EPM}}{\boldsymbol{Xest}}.\mathbf{100}$$

Onde:

EPM = Erro padrão da estimativa em relação à média, X_{est} = média estimada.

iv. **Média do desvio absoluto (δB - %):** é a média percentual dos desvios das estimativas em relação ao valor absoluto (observado) descrito por Overman *et al.* (1994).

$$\delta B = \frac{\sum \frac{|VE - VO|}{VO} \cdot 100}{n}$$

Onde:

VE = valor estimado pela equação alométrica, VO = valor observado (real) da amostra, n = número de amostras.

RESULTADOS

A densidade básica dos compartimentos das espécies foi determinada a partir das amostras coletadas para calculo do teor de umidade e conteúdo de matéria seca. No entanto, no desenvolvimento das equações de biomassa específicas, não foram testadas sua inclusão em modelos alométricos, pois a densidade básica da madeira é característica intrínseca à espécie. Os valores médios de densidade do tronco (± os limites da média a 95% de confiança) encontrados neste trabalho foram: Schinus terebinthifolius (0,664±0,027 g·cm^{-3}), *Tabebuia aurea* (0,613±0,046 g·cm^{-3}), *Tabebuia chrysotricha* (0,537±0,037 g·cm^{-3}), *Syzygium cumini* (0,529±0,021 g·cm^{-3}), *Cedrela odorata* (0,351±0,031 g·cm^{-3}) e *Ceiba speciosa* (0,264±0,020 g·cm^{-3}).

Uma forte relação entre o DAP e a Biomassa total de uma árvore é esperada, de acordo com diversos trabalhos (Brown *et al.*, 1989; Overman *et al.*, 1994; Higuchi e Carvalho, 1994; Nelson *et al.*, 1999; Chaves *et al.*, 2005), e o mesmo ocorreu nas espécies deste estudo. A Figura 4 apresenta a relação entre essas duas variáveis e os valores da correlação delas (Correlação de Pearson).

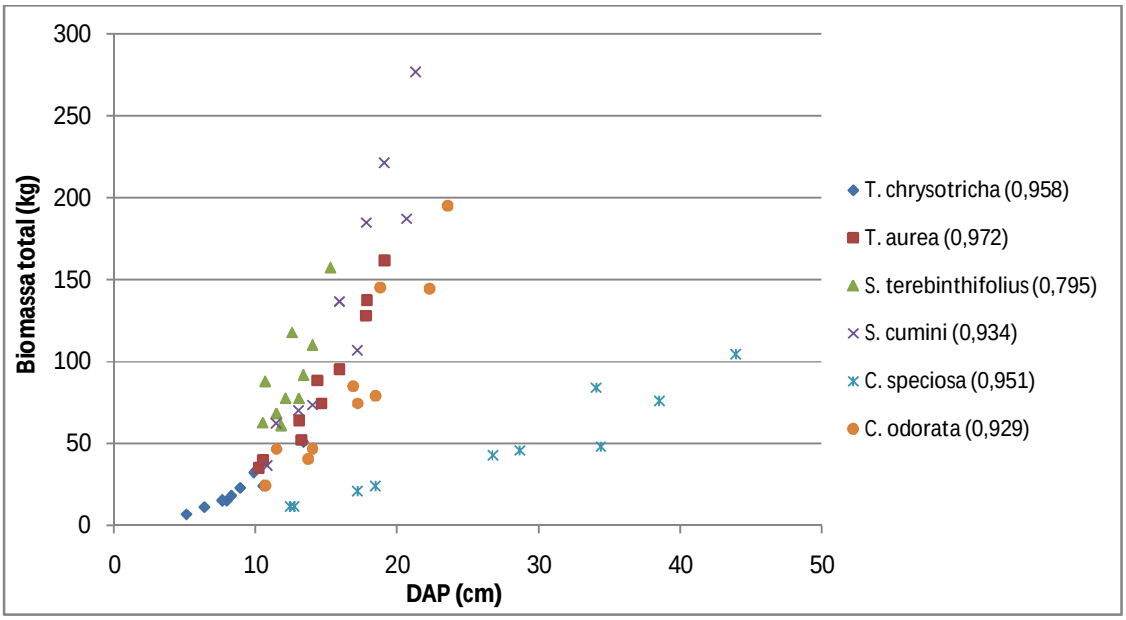


Figura 4. Relação entre DAP e Biomassa total das espécies arbóreas e o grau de correlação entre as variáveis segundo o teste de correlação de Pearson.

Pela figura, observa-se um comportamento bastante diferenciado da espécie *Ceiba speciosa* da relação DAP e Biomassa total. Esta espécie, como ocorre com outras espécies do

gênero *Ceiba*, possuem uma arquitetura diferenciada, apresentando um engrossamento diferencial da base do tronco à medida que a árvore cresce. Tal comportamento resulta em grandes DAPs e grande amplitude deste, porém ainda com baixos valores de biomassa total por se tratar de árvores jovens.

Apesar de esperar uma relação exponencial entre DAP e Biomassa (modelos IV e V), este trabalho também testou modelos lineares (modelos I ao III), uma vez que a pequena amplitude encontrada do DAP das espécies poderia apresentar comportamento linear da relação DAP e Biomassa no intervalo. Isto porque se buscou melhores estimativas destas classes, já que equações alométricas são recomendadas para intervalo de DAP semelhante a que foram geradas. Por fim, foram testados os modelos log-ajustados (VI a VIII), para resolver o problema da heterocedasticidade da variância dos resíduos. E também modelos log-ajustados com variáveis independentes menos utilizadas como largura de copa (IX), e, combinadas com a altura total, largura de copa (X) e altura do fuste até a primeira ramificação significativa (XI).

As Tabela 4 a 9 expõe os coeficientes encontrados para os modelos alométricos testados para as espécies, além dos parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

Tabela 4. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Tabebuia aurea* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

Modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δB
i. $P=a+b\cdot D$	-115,094	13,835	-	0,945	8,76	13,04
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	11,258	0,035	-	0,941	9,08	10,62
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-120,35	13,001	1,871	0,946	9,28	12,76
iv. $P=a\cdot D^b$	0,089	2,538	-	0,976	5,82	8,05
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,121	0,858	-	0,945	8,82	10,06
vi. $lnP=a+b\cdot lnD$	-2,032	2,397	-	0,967	6,19	7,25
vii. $lnP=a+b\cdot lnD\cdot H$	-2,409	1,384	-	0,912	11,80	12,49
viii. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot lnH$	-1,896	2,846	-0,273	0,968	50,23	107,57
ix. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc)$	-1,03	1,783	0,434	0,974	5,33	5,93
x. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc/H)$	-0,58	2,0	0,517	0,979	5,10	5,83
xi. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Hf/H)$	-2,265	2,465	-0,099	0,968	6,21	6,82

P = biomassa total (kg), **D** = diâmetro a 1,30 m (cm), **H** = altura total (m), **Lc** = largura da copa (m), **Hf** = altura do fuste (m), **a/b/c** = coeficientes alométricos, **R^2** = coeficiente de determinação, **IC (95%)** = o intervalo de confiança da estimativa da equação em relação à media, e **δB** = média do desvio absoluto.

Tabela 5. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Cedrela odorata* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δ_B
i. $P=a+b\cdot D$	-113,544	12,079	-	0,863	17,76	24,41
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	0,191	0,027	-	0,793	22,08	17,05
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-89,979	12,693	-3,203	0,869	18,61	25,17
iv. $P=a\cdot D^b$	0,075	2,475	-	0,897	15,40	16,40
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,032	0,982	-	0,794	21,63	18,21
vi. $\ln P=a+b\cdot \ln D$	-2,294	2,365	-	0,899	16,13	16,59
vii. $\ln P=a+b\cdot \ln D\cdot H$	-4,297	1,673	-	0,849	28,96	18,02
viii. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln H$	-2,924	1,823	0,417	0,904	251,07	67,91
ix. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Lc)$	-2,461	2,07	0,659	0,968	13,65	10,07
x. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Lc/H)$	-1,585	2,283	0,564	0,950	11,64	12,45
xi. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Hf/H)$	-2,19	2,285	-0,257	0,902	16,83	15,91

Tabela 6. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Schinus terebinthifolius* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δ_B
i. $P=a+b\cdot D$	-107,081	15,890	-	0,632	15,10	16,92
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	16,523	0,041	-	0,584	16,17	17,71
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-115,015	15,590	1,027	0,635	16,08	17,36
iv. $P=a\cdot D^b$	0,253	2,324	-	0,673	14,29	15,69
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,160	0,847	-	0,575	16,23	18,55
vi. $\ln P=a+b\cdot \ln D$	-0,441	1,951	-	0,589	15,04	14,99
vii. $\ln P=a+b\cdot \ln D\cdot H$	-0,005	0,906	-	0,419	19,88	18,87
viii. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln H$	-0,824	1,621	0,246	0,603	85,75	45,18
ix. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Lc)$	-0,471	1,899	0,1	0,594	14,70	15,12
x. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Lc/H)$	-0,465	1,954	-0,019	0,590	15,11	14,97
xi. $\ln P=a+b\cdot \ln D+c\cdot \ln(Hf/H)$	-0,546	2,027	0,117	0,602	16,66	15,46

Tabela 7. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Syzygium cumini* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δB
i. $P=a+b\cdot D$	-185,219	19,884	-	0,872	15,83	18,74
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	-16,366	0,061	-	0,867	16,21	16,86
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-183,248	19,934	-0,312	0,872	16,92	18,66
iv. $P=a\cdot D^b$	0,098	2,569	-	0,886	14,88	16,79
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,017	1,144	-	0,868	16,64	15,18
vi. $lnP=a+b\cdot lnD$	-2,450	2,607	-	0,919	15,20	16,33
vii. $lnP=a+b\cdot lnD\cdot H$	-4,396	1,851	-	0,897	20,19	17,63
viii. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot lnH$	-3,377	1,655	0,720	0,932	686,45	85,89
ix. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc)$	-3,126	1,657	1,773	0,959	12,34	10,60
x. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc/H)$	-2,148	2,536	0,333	0,921	14,14	15,92
xi. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Hf/H)$	-2,298	2,575	0,105	0,920	16,02	16,15

Tabela 8. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Ceiba speciosa* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δB
i. $P=a+b\cdot D$	-26,471	2,745	-	0,904	16,05	16,19
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	10,025	0,006	-	0,948	12,13	12,80
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-33,106	2,422	2,229	0,906	16,97	19,05
iv. $P=a\cdot D^b$	0,135	1,749	-	0,921	14,66	9,39
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,074	0,742	-	0,945	12,37	12,50
vi. $lnP=a+b\cdot lnD$	-1,843	1,701	-	0,968	14,86	9,02
vii. $lnP=a+b\cdot lnD\cdot H$	-1,857	1,071	-	0,974	13,37	9,89
viii. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot lnH$	-1,866	0,417	0,811	0,975	1547,51	92,00
ix. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc)$	-1,839	1,723	-0,049	0,968	14,81	8,76
x. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc/H)$	-1,838	1,685	-0,115	0,961	14,54	8,26
xi. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Hf/H)$	-1,840	1,702	0,011	0,968	15,81	9,02

Tabela 9. Coeficientes alométricos dos modelos testados para *Tabebuia chrysotricha* para estimativa de biomassa total e os parâmetros de qualidade utilizados na seleção dos melhores modelos.

modelo	a	b	c	R^2	IC (95%)	δB
i. $P=a+b\cdot D$	-23,873	5,266	-	0,917	13,04	16,58
ii. $P=a+b\cdot(D^2\cdot H)$	6,005	0,029	-	0,918	12,93	13,36
iii. $P=a+b\cdot D+c\cdot H$	-24,096	5,184	0,151	0,917	13,94	16,42
iv. $P=a\cdot D^b$	0,216	2,102	-	0,947	10,44	7,72
v. $P=a\cdot (D^2\cdot H)^b$	0,217	0,738	-	0,918	13,03	12,33
vi. $lnP=a+b\cdot lnD$	-1,442	2,058	-	0,961	10,64	7,62
vii. $lnP=a+b\cdot lnD\cdot H$	-1,299	1,079	-	0,876	15,97	16,97
viii. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot lnH$	-1,472	1,861	0,115	0,962	34,50	21,03
ix. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc)$	-1,352	1,729	0,489	0,967	8,56	7,60
x. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Lc/H)$	-1,428	2,059	0,03	0,961	10,5	7,83
xi. $lnP=a+b\cdot lnD+c\cdot ln(Hf/H)$	-1,888	2,119	-0,474	0,975	8,67	7,88

Todos os modelos testados foram significativos (teste t, $p<0,01$), porém o modelo VIII apresentou graves problemas de incertezas e desvio em todas as espécies. A variável DAP e largura de copa foram sempre significativas ($p<0,01$), enquanto a altura e altura do fuste foram significativas ($p<0,05$) quando combinada com o DAP. Todas as espécies apresentaram altos valores de R^2 dos modelos, com exceção da espécie *S. terebinthifolius*, com valores abaixo 0,7 (Tabela 6).

Em nenhum dos modelos foi verificada a tendência de maiores erros (resíduo) na estimativa de biomassa das maiores árvores, devido se tratar de estimativas máximas de 300 kg de biomassa seca (~450 kg biomassa fresca) e, portanto, erros menores. Em relação às classes de DAP, foram encontrados resíduos aleatórios, porém com grande amplitude nos modelos I ao V.

Comparando entre modelos lineares (I, II e III), exponenciais (IV e V) e entre os logarítmicos (VI ao XI) houve diferentes efeitos com a inclusão da altura total como variável independente. O efeito desta variável variou entre as espécies, sobretudo devido à ocorrência de colinearidade entre esta e a variável DAP em algumas espécies. Testes correlação de Pearson entre estas duas variáveis apresentaram os seguintes valores: *Ceiba speciosa* (0,926), *Tabebuia aurea* (0,881), *T. chrysotricha* (0,828), *Cedrela odorata* (0,543), *Syzygium cumini* (0,536) e *Schinus terebinthifolius* (0,271). Quanto mais próxima de um, maior a correlação entre as variáveis.

Os modelos com altura e DAP que se destacaram foram IV, V, VI e os modelos IX, X e XI, com as variáveis “largura de copa” e “altura de fuste” (combinadas com altura), também se destacaram para cada espécie entre todos os modelos testados, porém, entre estes seis modelos, apenas os modelos VI, IX, X e XI, log-ajustados, apresentaram distribuição de resíduo homogênea, atendendo à premissa da homocedasticidade da distribuição. A transformação logarítmica do modelo IV no modelo VI de todas as espécies, é apresentada nas Figuras 1 e 2.

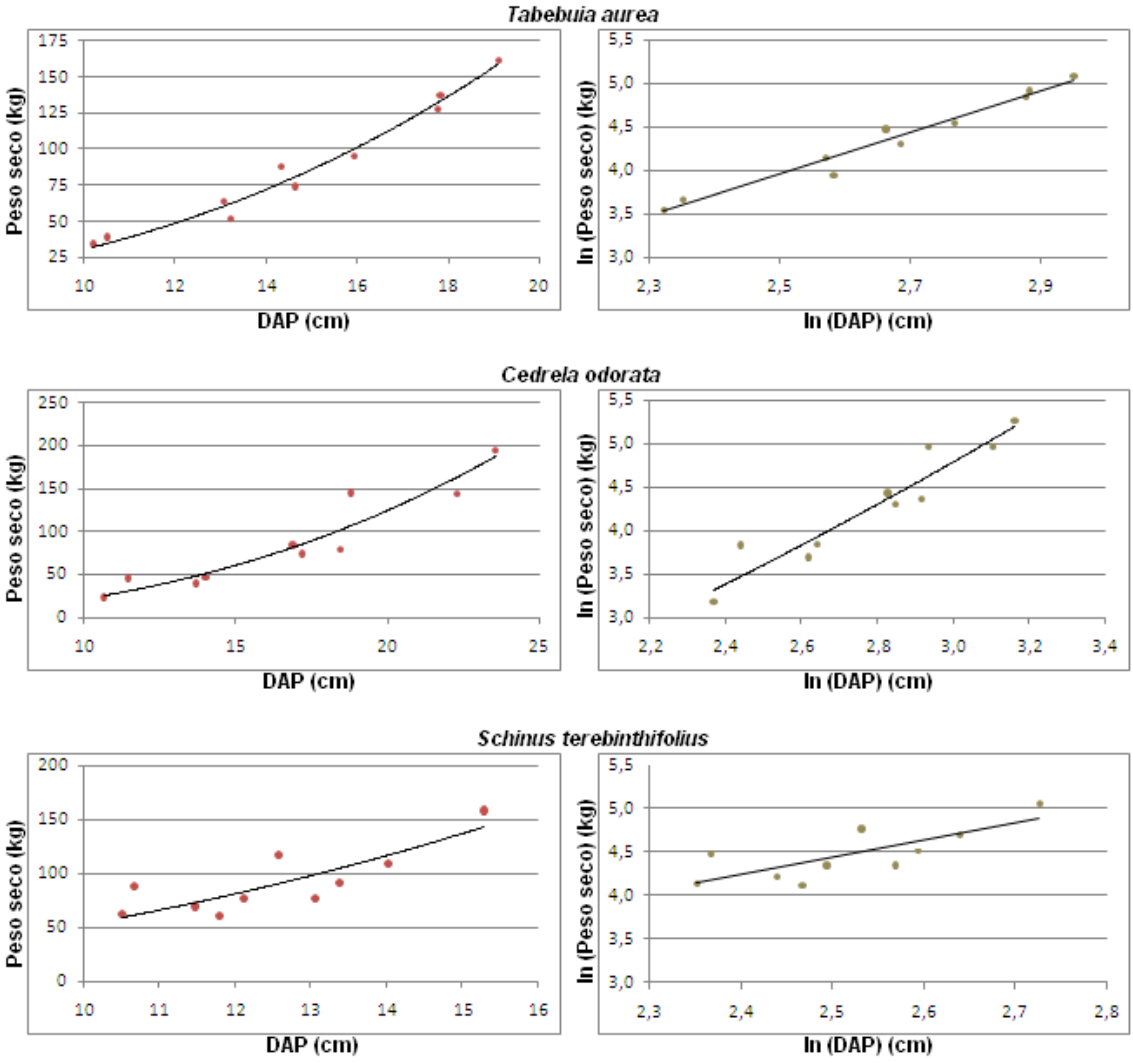


Figura 5. Transformação logarítmica das espécies *T. aurea*, *C.odorata* e *S. terebinthifolius*, do modelo exponencial (iv) $P=a \cdot D^b$, à direita, para o modelo logarítmico (vi) $\ln P=a+b \cdot \ln D$, à esquerda. A linha representa a curva de estimativas do modelo e os pontos representam os valores reais observados de biomassa total ou ln(B).

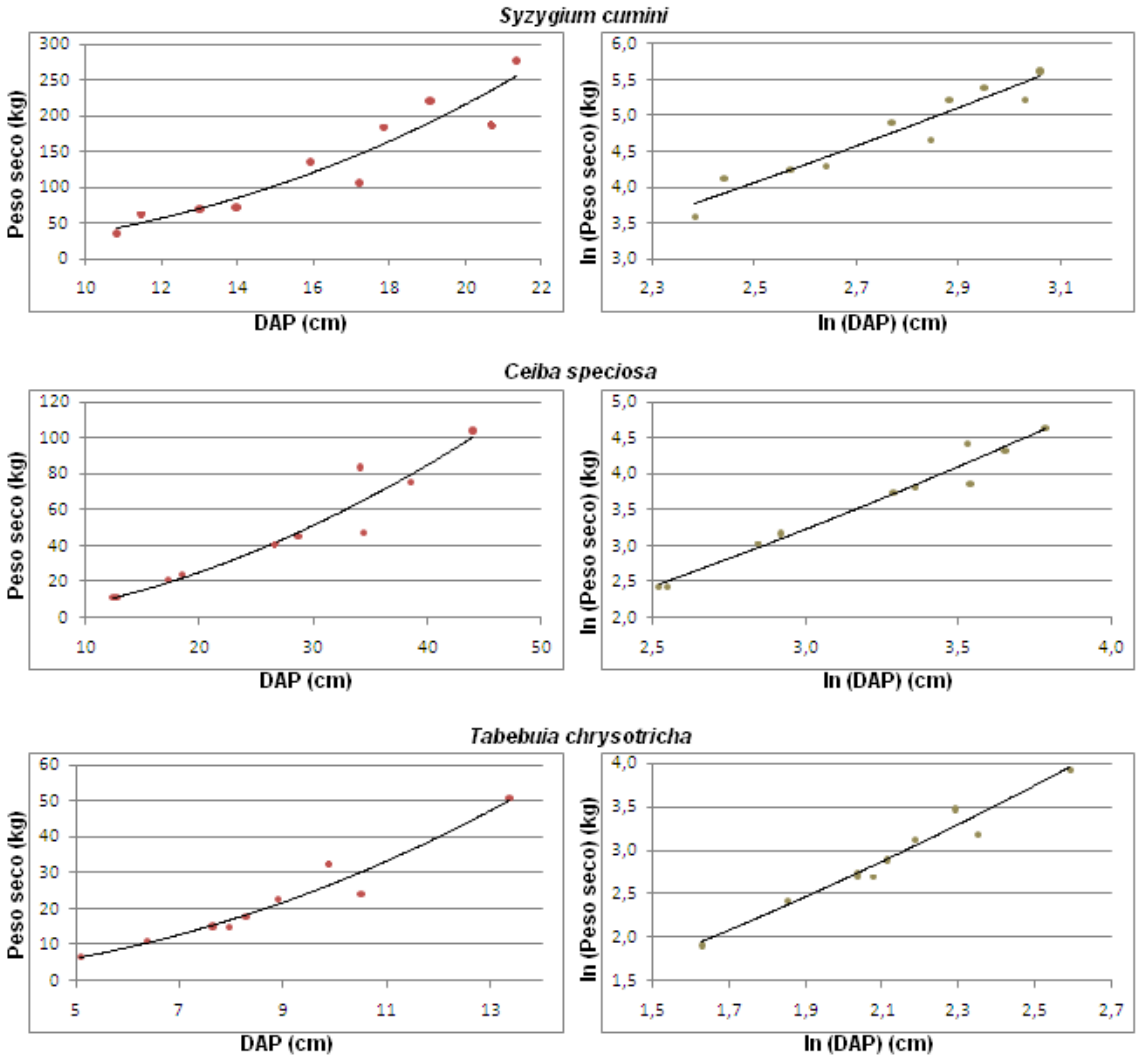


Figura 6. Transformação logarítmica das espécies *S. cumini*, *C. speciosa* e *T.chrysotricha*, do modelo exponencial (iv) $P=a \cdot D^b$, à direita, para o modelo logarítmico (vi) $\ln P=a+b \cdot \ln D$, à esquerda. A linha representa a curva de estimativas do modelo e os pontos representam os valores reais observados de biomassa total ou ln(B).

DISCUSSÃO

Neste trabalho, não foram amostradas árvores de grande porte ($DAP_{máx}$ = 45cm da *Ceiba speciosa* e $DAP_{máx}$ = 24cm das outras espécies, Figuras 5 e 6), por isso não é possível observar com muita clareza a heterocedasticidade do resíduo, como é observado em diversos trabalhos de biomassa em floresta tropical (Brown *et al.*, 1989; Overman *et al.*, 1994; Higuchi e Carvalho, 1994). Este fato, aliado aos baixos intervalos de DAP amostrados das espécies, colabora com o bom desempenho de incerteza e δB dos modelos lineares (I ao III).

Foram identificadas em três espécies (*T. aurea*, *C. speciosa* e *T. chrysotricha*) fortes correlação entre DAP e altura total (valores de correlação de Pearson > 0,8), i.e, as duas variáveis covariam, gerando problemas de colinearidade, e desconfiança quanto aos parâmetros de qualidade calculados para o modelo (Sokal e Rohlf, 1997).

Nos três casos (Tabelas 4, 8 e 9), os modelos que utilizaram o produto do DAP e altura total como uma só variável independente [D·H] obtiveram ganhos na precisão do modelo II de dupla entrada, porém apenas a *C. speciosa*, com alto coeficiente de correlação das variáveis, obteve ganhos de precisão com a variável [D^2·H] entre os modelos VI e V.

Em contrapartida, a espécie *S. terebinthifolius* apresentou baixa correlação entre as duas variáveis (coeficiente de Pearson = 0,271) e o modelo III de dupla entrada (Tabela 6) foi o que obteve melhores parâmetros. Já nas espécies *C. odorata* e *S. cumini*, com correlação mediana entre as variáveis (coeficiente de Pearson ~ 0,5), os modelos II e III apresentaram valores muito semelhantes, no caso da *S. cumini* (Tabela 7), ou efeitos contrários nos valores de incerteza e desvio (δB), no caso da *C. odorata* (Tabela 5).

A correlação entre altura e DAP foi prevista por Overman *et al.* (1994), que para floresta madura, descartou modelos que utilizavam DAP e altura como variáveis independentes. Nelson *et al.* (1999) desenvolveu modelos específicos e também obteve ganhos de precisão do modelo utilizando a variável combinada em floresta secundária. Em áreas de reflorestamento, essa característica entre DAP e altura total pode ser alterada devido à alteração da copa das árvores pela competição (Cole e Ewel, 2006), situação que ocorre na área do presente estudo.

As vantagens da inclusão da altura em modelos de alométricos de biomassa é que podem trazer ganhos de até 5% na precisão do modelo (Higuchi *et al.*, 1998; Sanquetta *et al.*,

2003). E, segundo Cole e Ewel (2006) e Ketterings *et al.* (2001), sua inclusão pode favorecer a aplicabilidade de modelos em outros reflorestamentos, pois, altura dominante é indicador de qualidade de sítio.

Variáveis como largura de copa e altura do fuste são menos comumente mensuradas em inventários de plantios florestais, porém elas podem ser de grande valia em equações de biomassa como foi observado nos modelos IX, X e XI, principalmente, em equações específicas, quando a espécie apresenta características arquiteturais que valorizam essas variáveis, como observado nas espécies *C. odorata* e *S. cumini* (Tabelas 5 e 7), com melhoras significativas na média do desvio absoluto (δB).

Os modelos IV, V, VI, IX, X, XI deste trabalho obtiveram valores de desvio absoluto (Figura 7) comparáveis aos melhores encontrados por Nelson *et al.* (1999) com equações específicas e por Overman *et al.* (1994) e com a inclusão da densidade como variável independente. Em modelos alométricos específicos, a inclusão desta variável para predição de biomassa não se faz necessária, porém é muito importante para modelos de biomassa de florestas tropicais, que incluem grande número de espécies (Brown *et al.*, 1989; Higuchi e Carvalho, 1994). Os seis principais modelos também apresentaram os melhores valores de incerteza (Figura 8).

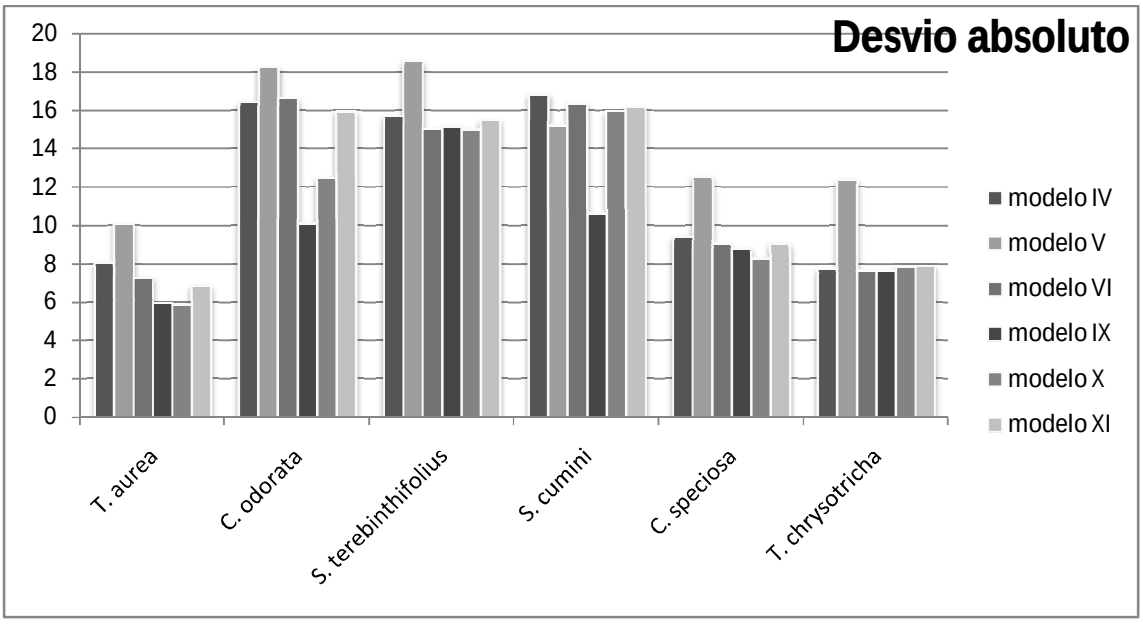


Figura 7. Desvio absoluto (δB) dos principais modelos testados das espécies.

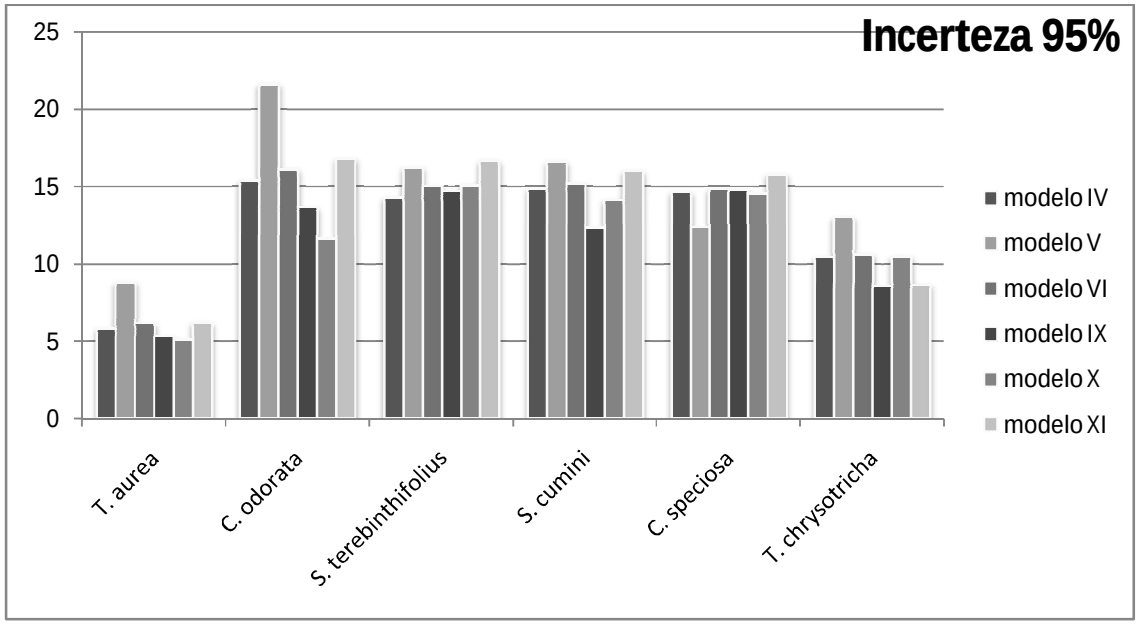


Figura 8. Incerteza da estimativa, à 95% de confiança, dos principais modelos testados das espécies.

Os modelos IX, X e XI, devido ao ajuste logarítmico, apresentam uma boa distribuição dos resíduos além de bons valores de incerteza e desvio absoluto. Apesar disso, sua utilização é dependente da mensuração destas variáveis que, ao mesmo tempo em que não são comumente adicionadas em aos inventários florestais, possuem, geralmente, dificuldades de mensuração semelhantes à altura total: menor confiabilidade da medida e maior probabilidade de erros pela ausência de equipamento de precisão adequado, além de aumentar esforços de campo e custos do inventário florestal.

A transformação logarítmica dos modelos, VI (Figuras 5 e 6) e VII (não apresentado), favoreceu a linearização dos resíduos nas classes de DAP. Porém, enquanto o modelo VI destacou-se em todas as espécies quanto aos outros indicadores de qualidade (incerteza e desvio), o modelo VII, com a variável [$D^2 \cdot H$], obteve bom desempenho apenas nas espécies *T. aurea* (Tabela 4) e *C. speciosa* (Tabela 8).

Segundo Sokal e Rohlf (1997), a transformação logarítmica é eficaz quando variações proporcionais da variável independente produzem variações lineares da variável dependente, que é justamente o que ocorre com as variáveis DAP e biomassa total, devido ao tronco adquirir forma cilíndrica com o crescimento da árvore (Nelson *et al.*, 1999).

Overman *et al*. (1994) sugere que a transformação, por eliminar a heterogeneidade da variância dos resíduos, permite a utilização do modelo para classes de DAP maiores que a utilizadas no desenvolvimento da equação de biomassa, porém, segundo Nelson *et al.* (1999) e Chaves *et al.* (2005), a aplicação de equações de biomassa para outras classes de DAP que estas não foram geradas, é fonte de tendências para os desvios absolutos, calculados com base nos valores reais e estimados.

Apesar disso, Overman et al. (1994) e Nelson et al. (1999), enfatizam a importância de equilibrar os esforços de amostragem entre pequenas e maiores classes de DAP, amostrando um maior número de árvores pequenas em detrimento das maiores. Isto porque os menores classes de DAP tem grande poder de alavancagem da curva e menores erros favorecendo menores desvios absolutos, enquanto as árvores grandes favoreceriam a aplicabilidade do modelo à uma maior amplitude de DAP.

CONCLUSÃO

No geral, as equações de biomassa com DAP apenas obtiveram desempenho tão bom quanto aqueles com DAP e altura total. Porém se existe o interesse de inclusão da altura total em equações de biomassa e esta informação é disponível no inventário florestal, é importante avaliar a interdependência (correlação) das variáveis independentes DAP e altura total na situação do reflorestamento, para aplicar no melhor modelo de dupla entrada: DAP e altura como variáveis independentes ou o produto delas como uma variável combinada.

As variáveis independentes, altura de fuste (combinada com altura total) e, principalmente, largura de copa, são variáveis de ótimo desempenho nas equações de biomassa específicas em situações de plantio florestais, porém necessitam de esforços extras no inventário para sua aplicação.

A distribuição de resíduos e a média do desvio absoluto foram os critérios de seleção de modelos que permitiu uma comparação deste trabalho com outros de mesma natureza. E a incerteza é importante, principalmente, no momento de sua aplicação, fornecendo o intervalo de confiança da estimativa.

Apesar de bons valores de desvio e incerteza dos modelos IV, V, IX, X e XI, a confiabilidade da medição da variável independente DAP e a distribuição homogênea de resíduos favorecem a aplicação do modelo VI em inventários.

Os modelos recomendados para estimar a biomassa de indivíduos das espécies, sua incerteza (IC - 95% de confiança) e o intervalo de DAP de aplicabilidade do modelo são: Tabebuia aurea ($lnP = -2{,}032 + 2{,}397 \cdot lnD$; IC ± 6,19%) para árvores de até 20 cm; Cedrela odorata ($lnP = -2{,}294 + 2{,}365 \cdot lnD$; IC ± 16,13%) para árvores de até 25 cm; Schinus terebinthifolius ($lnP = -0{,}441 + 1{,}951 \cdot lnD$; IC ± 15,04%) para árvores de até 16 cm; Syzygium cumini ($lnP = -2{,}45 + 2{,}607 \cdot lnD$; IC ± 15,22%) para árvores de até 25 cm; Ceiba speciosa ($lnP = -1{,}843 + 1{,}701 \cdot lnD$; IC ± 14,86%) para árvores de até 50 cm; e Tabebuia chrysotricha ($lnP = -1{,}442 + 2{,}058 \cdot lnD$; IC ± 10,64%) para árvores de até 15 cm.

<u>Capítulo II.</u> Estoques de Biomassa e Carbono de Seis Espécies Arbóreas em Plantios Mistos da Fazenda São Nicolau – Cotriguaçu, MT

INTRODUÇÃO

Na Amazônia, muitos trabalhos estão sendo feitos acerca dos estoques de biomassa e carbono na floresta primária, com objetivos de elaborar estratégias de manejo (Higuchi e Carvalho, 1994; Higuchi *et al.*, 1998; Hennigar, 2008), e também para fins de estudos climáticos (Fearnside *et al.*, 1993; Fearnside, 2002; Higuchi *et al.*, 2004). Para estudos climáticos, as estimativas de biomassa são usadas para quantificar a quantidade de CO_2 que é liberada à atmosfera a partir dos desmatamentos (Higuchi *et al.*, 1998).

Segundo o IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), o estoque de carbono em formações florestais é formado por três sumidouros, sendo eles o carbono estocado na matéria viva (vegetação), na matéria orgânica morta e no carbono do solo. Para o carbono estocado na vegetação, é importante a quantificação deste e de nutrientes nos diferentes compartimentos (tronco, casca, galhos e folhas) para controlar a saída destes pela colheita florestal, e entrada via "inputs" atmosféricos, para minimizar impactos devido à exploração florestal (Higuchi *et al.*, 1998).

Florestas primárias têm muita implicação acerca de emissão de CO_2, uma vez que a alteração no uso da terra, para pasto ou agricultura é responsável pela liberação do gás em grandes proporções. Em estudo de corte e queima de vegetação primária na região de Manaus, Carvalho *et al.* (1998) encontraram um total de 401 $t \cdot ha^{-1}$ de biomassa acima do solo, sendo 47,8% o conteúdo de carbono, antes das atividades de queimada. Sampaio *et al.* (2003) encontraram um total antes da queima de 339,1 $t \cdot ha^{-1}$, que culminou, com a queimada, numa perda de 123 $t \cdot ha^{-1}$ de carbono.

Fearnside (1994) descreveu uma média de 327 $t \cdot ha^{-1}$ na biomassa aérea e 428 $t \cdot ha^{-1}$ de biomassa total para toda a Amazônia. Castilho *et al.* (2006), estudando biomassa aérea em diferentes topografias da Amazônia Central, encontraram média de 328 $t \cdot ha^{-1}$ (variando de 211 $t \cdot ha^{-1}$ até 426 $t \cdot ha^{-1}$). Alves *et al.* (1997) encontraram valores variando de 290 a 495 $t \cdot ha^{-1}$, sendo a média de 399 $t \cdot ha^{-1}$ na biomassa aérea na região de Rondônia. Os teores de carbono na floresta atingem geralmente valores próximos a 48% (Higuchi e Carvalho, 1994).

Baseado em valores normalmente apresentados na literatura da biomassa, preservar a floresta teria o maior impacto nos estoques de carbono na terra, uma vez que estas estocam 57% mais carbono que agroflorestas e 86% mais que as pastagens (Kirby e Ptovin, 2007).

Atualmente, o aumento anormal de gases de efeito estufa na atmosfera, acompanhado do aumento da temperatura da superfície, caracterizam o aquecimento global e as mudanças climáticas. Para isso, surgiu como importante alternativa, o seqüestro do carbono pela biomassa vegetal, retirando o CO_2 da atmosfera. Essa idéia corre contra a tendência mundial, que depende da queima de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, que são estocadores naturais de carbono no solo.

É nesse contexto que plantios florestais ganham força dentro dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) sugerido pelo Protocolo de Quioto como alternativa para o cumprimento das metas de redução dos países desenvolvidos e transferência de tecnologia e capital aos países em desenvolvimento, como o Brasil. Além disso, as diretrizes que viabilizam projetos de REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação) são ainda bastante recentes e necessita de ainda mais tempo para estabelecerem-se.

Na região Amazônica, existem poucos trabalhos sobre estoques de biomassa e carbono em plantios florestais. Em contrapartida, diversos trabalhos foram realizados em relação aos tratos silviculturais adotados em áreas de regeneração natural para aceleração da recuperação da área (Mesquita, 2000; Engel e Parrota, 2001), enriquecimento com espécies de interesse econômico e estabelecimento de sistemas agroflorestais (Smith *et al.*, 1996; Rodrigues *et al.*, 2007) e até uso de plantios para restabelecimento da vegetação natural (Parrota *et al.*,1997). Mas poucos avaliaram a variável biomassa ou estoque de carbono nos experimentos.

Apesar de evitar o desmatamento ser a melhor alternativa para evitar emissões de CO_2 para a atmosfera (Kirby e Ptovin, 2007; Fearnside, 2009), plantios florestais são interessantes para seqüestro de carbono, principalmente, sobre áreas anteriormente degradadas, de baixo estoque de biomassa. Além da absorção de carbono, tais plantios possuem outras vantagens como disponibilidade de terras para estabelecimento de reflorestamentos, alta produtividade devido ao manejo e tecnologias, benefícios econômicos e desenvolvimento rural, boa demanda e maior variedade de produtos para os diferentes mercados e serviços ambientais como proteção do solo e manutenção do lençol d'água (Evans e Turnbull, 2004).

Até então, os principais trabalhos relacionados à biomassa em plantios florestais no Brasil foram realizados com espécies de interesse econômico, como diversas espécies de *Eucalyptus sp.* (Santana *et al.*, 1999; Schumacher e Caldeira, 2001; Soares e Oliveira, 2002; Neto *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 2004), de *Pinus* sp. (Sanquetta *et al.*, 2003; Balbinot *et al.*, 2008), *Acacia mearnsii* (Caldeira *et al.*, 2003; Schneider *et al.*, 2005), *Acacia mangium* (Veiga *et al.*, 1998), Araucária (Watzlavick *et al.*, 2003; Sanquetta *et al.*, 2003), e *Hovenia dulcis* (Schumacher *et al.*, 2008).

Trabalhos de equações de biomassa por espécie conduzidos em plantios são muito raros na região da Amazônia brasileira, entre eles destacam-se trabalhos de biomassa de *Tectona grandis* (Rondon, 2006). Entre estudos de biomassa de espécies, conduzidos entre latitudes 10ºN e 10ºS, destacam-se Cole e Ewel (2006), na Costa Rica, para 3 espécies, entre elas *Cedrela odorata*, e Fuwape *et al.* (2001) em plantios de *Nauclea diderrichii* e *Gmelina arborea*, na Nigéria. Além desses, foram feitos estudos de plantio de palmitos na Costa Rica (Ares *et al.*, 2002), e com plantios de *Pinus radiata, P. patula, Eucalyptus globulus, E. saligna* e *Cupressus macrocarpa* no Equador (Jara *et al.*, 2001).

Outros trabalhos de destaque são citados por Evans e Turnbull (2004) como pioneiros em reflorestamentos para comércio de carbono seqüestrado, mesmo antes de assinado a Convenção-Quadro das Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992. Trata-se de trabalhos de companhias de eletricidade dos EUA com plantios na Guatemala e da Alemanha com plantios em vários outros países, realizados pela então criada Fundação FACE (Forests Absorbing Carbon Dioxide Emissions).

Trabalhos de quantificação da biomassa e carbono em plantios são utilizados para fins de manejo florestal, com aplicações como estimativa de volume comercial e exportação de nutrientes pela exploração madeireira, balanço de carbono estocado (Higuchi *et al.*, 2004), emissão e remoção de carbono da atmosfera (Carvalho *et al.*, 1998) e exportação de nutrientes por mudanças no uso da terra, para agricultura ou pastos (Sampaio *et al.*, 2003; Luizão, 2007).

Enquanto biomassa do tronco tem relação com maior contribuição relativa no seqüestro de carbono, o conhecimento do carbono e nutrientes de compartimentos como casca, folhas, frutos e galhos, é importante para determinar a viabilidade de manter resíduos de colheita no campo ou utilizá-los para queima no lugar de outros combustíveis fósseis.

Neste estudo, equações de biomassa pré-desenvolvidas de seis espécies arbóreas serão aplicadas ao inventário florestal anual do plantio misto da Fazenda São Nicolau, localizada na região sul da Amazônia, norte do Mato Grosso, para avaliação do potencial de reflorestamentos inseridos sobre pastagens abandonadas, na região conhecida como “Arco do Desmatamento”. É um reflorestamento que visa especificamente o seqüestro de carbono, tendo sido testadas cerca de 50 espécies florestais distintas, exóticas e nativas, no projeto Poço de Carbono Peugeot/PSA.

Além disso, os compartimentos arbóreos das seis espécies serão avaliados quanto aos teores de carbono e nitrogênio e quanto à partição da biomassa total das árvores entre eles. Esta informação visa possibilitar a quantificação da ciclagem de carbono e nitrogênio entre solo e planta, além da quantificação de saídas destes elementos pela exploração madeireira ou outras atividades de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área do estudo

O trabalho foi realizado nos reflorestamentos localizados na Fazenda São Nicolau (9º51'25''S; 58º15'04''O), no município de Cotriguaçu, ao noroeste do Estado de Mato Grosso. A propriedade cobre uma área aproximada de 10.000 ha. São 7.000 ha de floresta natural (destes, 1.781,3 ha da Reserva Nacional do Patrimônio Nacional Pegeout/ONF-Br, criada em 2009), 1.000 ha mata ciliar degrada (Áreas de Preservação Permanente – APPs) e 1.742 ha de reflorestamento e 250 ha de áreas de regeneração natural (testemunhas).

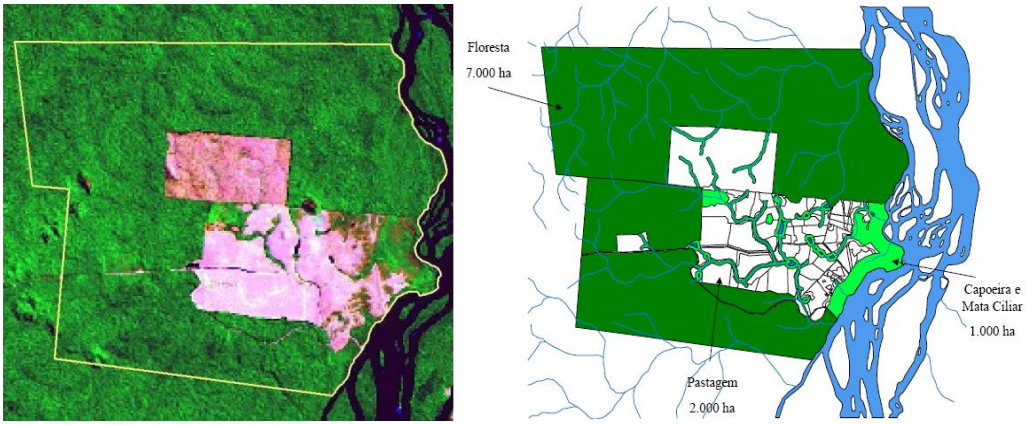


Figura 1. Limites da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

A área da fazenda está localizada na região do "Arco do Desmatamento" da Amazônia, perto da fronteira entre os Estados do Mato Grosso e Amazonas, às margens do Rio Juruena, afluente direto do Rio Amazonas. Essa região é zona de transição edafoclimática entre cerrado e floresta amazônica (Rondon, 2006).

Condições edafoclimáticas

A região é caracterizada por baixa amplitude de temperaturas e média anual de 25ºC. A precipitação média anual é de 2.300 mm. O clima, segundo a classificação KÖPPEN-GEIGER, é do tipo Aw - Clima Tropical com Estações Secas (Peel *et al.*, 2007), sendo as estações mais secas entre os meses de maio a outubro (Verneyere, 2007).

O relevo é marcado por altitudes entre 200 e 250 m. O solo repousa sobre uma matriz granítica de formação pré-cambriana (Verneyere, 2007). Destacam-se os Latossolos Amarelos, distróficos, de textura argilosa e Argissolos Amarelos, distróficos, com textura

arenosa. Há ocorrência de solos hidromórficos (alagados) nas margens dos cursos d'água e margens do Rio Juruena (APPs).

Os solos da região apresentam boas características físicas; no entanto, são geralmente ácidos, com moderada concentração de alumínio trocável, apresentando baixa CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e são deficientes em cálcio e fósforo, havendo predominância de Latossolos profundos, bem drenados e planos (Rondon, 2006).

Vegetação

Os limites da fazenda situam-se em região de contato entre duas formações vegetais: Floresta Ombrófila Densa (predominante na Fazenda São Nicolau) e Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 1992). É região de ocorrência natural de espécies de copa sempre-verde e semi-deciduais, mas com a influência do bioma cerrado (ao sul) há também ocorrência de espécies deciduais.

Segundo Nogueira *et al.* (2008), a floresta primária da Amazônia sulina é caracterizada por árvores de troncos mais curtos e maiores estoques de biomassa nas copas, quando comparada com árvores da Amazônia central. O mesmo estudo apresenta um estoque de biomassa da floresta primária da região de estudo de 330 $t \cdot ha^{-1}$ de biomassa abaixo+acima do solo.

Histórico da área

A fazenda, nos anos 70, então nomeada de Fazenda Ariel, foi base para colonização da região, acolhendo pessoas de outros Estados, que foram atraídos pela oferta de terras no Mato Grosso. Nessa época, o Estado apresentava forte crescimento econômico devido à expansão das áreas de pastagem para criação de gado bovino de corte.

As áreas de pastos na propriedade eram bastante heterogêneas, de acordo com a época da queimada e seu preparo para o gado. As áreas mais antigas foram queimadas entre os anos de 1981 e 1984, quando passaram a receber o gado. O resto das pastagens era dividido entre áreas com formação das pastagens nos anos de 1987, 1992 e 1994, com um total de 750 ha, com braquiária (*Brachiaria bryzantha*) de baixa produtividade. As pastagens mais recentes formadas em 1998 (530 ha) apresentavam bastante madeira morta e forte ocorrência de regeneração natural.

Em 1998, a Fazenda foi adquirida pela Peugeot-PSA, que idealizava realizar um projeto de restauração ambiental que objetivava contribuir para a fixação de CO_2 atmosférico na biomassa florestal. Para tal, foi estabelecida inicialmente uma parceria com a ONF (Office National dês Forêts) e a ONF-Br (filial do Brasil), e em seguida, com a UFMT (Universidade Federal do Mato Grosso) e a SEMA-MT (Secretaria de Estado do Meio Ambiente – Mato Grosso). O projeto apresentava como objetivos secundários, o aumento da biodiversidade, o desenvolvimento de técnicas adaptadas ao contexto econômico local (silvopastoreio) e integração do projeto com as populações locais. O projeto tem duração prevista de 40 anos.

Com o surgimento do projeto Poço de Carbono em 1998, iniciaram-se os plantios em 1999 e se alongaram até 2002, totalizando 1.742 ha reflorestados nos 4 anos. Os plantios realizados em 1999/2000 foram feitos em espaçamentos 5x4, utilizando inicialmente cerca de 50 espécies inicialmente (*Tectona grandis*, *Ficus* sp., *Tabebuia* sp., *Simarouba amara*, *Spondias mombin*, *Cordia goeldiana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Schizolobium amazonicum*, *Jacaranda* sp., *Cariniana* sp., *Bixa orellana*, *Guazuma ulmifolia*, entre outras). Apenas a Teca (*Tectona grandis*) foi plantada em plantios puros.

Nos anos seguintes, outros espaçamentos foram utilizados, assim como outras combinações de espécies. Nos plantios de 2000/2001 e 2001/2002 foram utilizados espaçamentos 3x3 e 3x2, respectivamente, com espécies que apresentaram melhores taxas de sobrevivência em relação ao primeiro ano do plantio. Nas atividades de plantio de 2002/2003, o espaçamento utilizado foi 6x3 com preferência ao plantio de Figueira-branca (*Ficus* sp.).

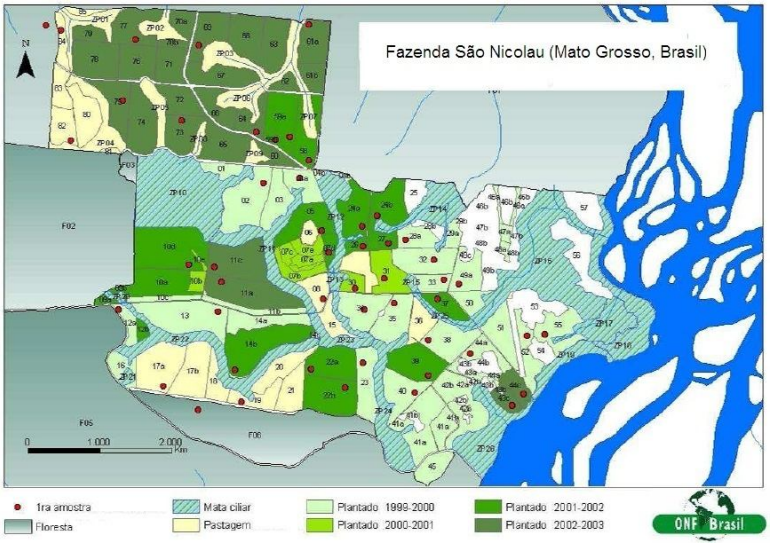


Figura 2. Limite dos talhões e os anos de plantio da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

As atividades de preparo do solo, no momento dos plantios, foram o gradeamento e fertilização nas covas com 60g de adubo N:P:K na formulação 4-30-10. Outras atividades de manutenção pós-plantio foram o gradeamento entrelinha (4x ao ano) e manutenção manual com roçadeira costal (4x ao ano) e enxada (2x ao ano).

Durante os primeiros anos, ocorreu forte competição com o capim, principalmente, a braquiária (*Brachiaria bryzantha*) e o colonião (*Panicum maximum*). Para controlar a regeneração (pasto + arbustos) foram introduzidas 3.000 cabeças de gado na fazenda. O resultado foi positivo e o objetivo é, ainda hoje, eliminar o gado, quando os plantios apresentarem fechamento das copas e suprimirem a regeneração do capim.

A partir de 2003, inventários florestais começaram a ser realizados, anualmente, por meio de parcelas permanentes. Nesse mesmo ano, 4 anos após os primeiros plantios, foi realizada a primeira campanha de coleta de indivíduos arbóreos para estimativa de biomassa e medição do estoque de carbono na fazenda, pelo método destrutivo das seis principais espécies.

A intenção do Projeto Poço de Carbono Peugeot/ONF é fazer o monitoramento do balanço de carbono na fazenda, de acordo com especificações de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), durante os 40 anos de projeto, em períodos de 5 em 5 anos, com coletas destrutivas nesses anos.

Inventário florestal

O inventário florestal é realizado por meio de parcelas permanentes, com dimensões de 20x50m, distribuídas por todos os talhões, abrangendo os plantios florestais e as áreas de regeneração natural. Foi estabelecido o número de parcelas de acordo com a área utilizada em cada plantio: plantios de 1999 (91 parcelas permanentes), plantios de 2000 (11 parcelas), 2001 (78 parcelas), 2002 (101 parcelas), além de áreas de regeneração natural (20 parcelas).

São 301 parcelas, com 30,1 ha amostrados dos 1.992 ha do reflorestamento. Desconsiderando as áreas de testemunha com regeneração natural (250 ha), são 281 parcelas, e um total de 28,1 ha amostrados de 1.742 ha de plantio efetivo.

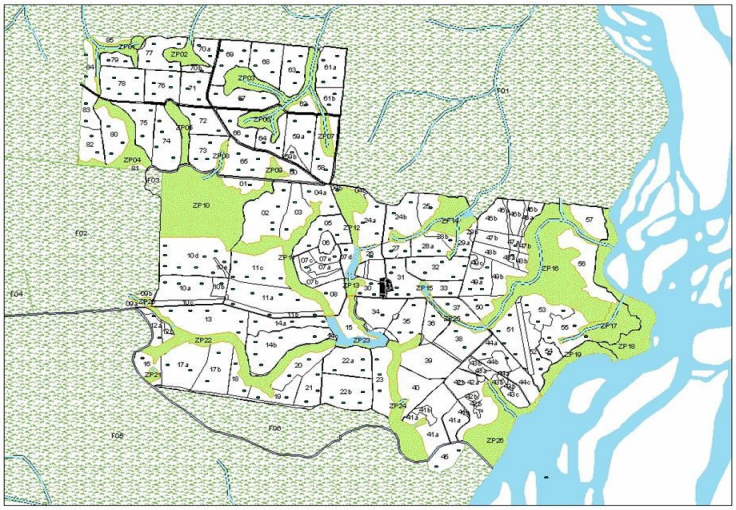


Figura 3. Localização das parcelas permanentes nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

Espécies selecionadas

As espécies foram selecionadas segundo a densidade relativa dos indivíduos plantados nas parcelas do inventário florestal do ano de 2008 da Fazenda São Nicolau. São cerca de 2 milhões de árvores plantadas nos 1.742 ha. As seis espécies selecionadas para o estudo contemplam 17,05 % das árvores presentes nas 301 parcelas permanentes do plantio e um total de 11,72% da área basal total do reflorestamento. As espécies, densidade relativa e área basal relativa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade relativa e Área Basal relativa das espécies selecionadas para o estudo nos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu – MT). Base de dados Inventário 2008.

Espécies	Família	DR (%)	AB (%)
Tabebuia chrysotricha (Mart. ex A.DC.) Standley	Bignoniaceae	4,64	1,42
Tabebuia áurea (Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Bignoniaceae	3,20	0,48
Schinus terebinthifolius Raddi	Anacardiaceae	2,42	0,99
Ceiba speciosa (A.St.-Hil.) Ravenna	Malvaceae	2,34	5,59
Cedrela odorata L.	Meliaceae	2,32	0,72
Syzygium cumini (L.) Skeels	Myrtaceae	2,12	2,52

DR(%): Densidade relativa das espécies das árvores plantadas; **AB(%):** Área Basal relativa das espécies no reflorestamento.

Segundo o Inventário florestal 2009, as seis espécies ocorrem em 34 talhões do plantio (Anexo A), de um total de 115 talhões do reflorestamento. Estes 34 talhões apresentam entre 1 a 4 das espécies estudadas simultaneamente e totalizam uma área de 761,1 ha. Em relação a cada uma das espécies, o número de talhões e área que estes somam são: *T. chrysotricha* (15 talhões; 399,7 ha), *T. aurea* (17 talhões; 434,7 ha), *S. terebinthifolius* (8 talhões; 145 ha), *C. speciosa* (1 talhão; 28,5 ha), *C. odorata* (14 talhões; 313,8 ha) e *S. cumini* (4 talhões; 130,7 ha).

Equações específicas de biomassa

Foi feito estudo prévio de modelos alométricos para geração de equações de biomassa por espécie (Capítulo I). Para cada espécie foram coletados 10 indivíduos para pesagem da biomassa fresca. Os compartimentos foram divididos em folhas, galhos finos, galhos grossos, tronco e raízes, pesados separadamente.

As equações de biomassa total desenvolvidas, que serão aplicadas ao inventário florestal 2009 da Fazenda São Nicolau estão na Tabela 2.

Tabela 2. Equações de biomassa utilizada para as espécies do reflorestamento da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT) e parâmetros de precisão.

Espécie	Modelo	R^2	δB	Incerteza
***Syzygium cumini* (Jamelão)**	lnP = -2,450 + 2,607· lnD	0,919	16,33	15,22
***Tabebuia chrysotricha* (Ipê-cascudo)**	lnP = -1,442 + 2,058· lnD	0,961	7,62	10,64
***Schinus terebinthifolius* (Aroeira)**	lnP = -0,441 + 1,951· lnD	0,589	14,99	15,04
***Ceiba speciosa* (Paineira)**	lnP = -1,843 + 1,701· lnD	0,968	9,02	14,86
***Tabebuia aurea* (Ipê-amarelo)**	lnP = -2,032 + 2,397· lnD	0,967	7,25	6,19
***Cedrela odorata* (Cedro-rosa)**	lnP = -2,294 + 2,365· lnD	0,899	16,59	16,13

R^2: coeficiente de determinação; **δB:** média dos desvios absolutos (%); **Incerteza:** intervalo de confiança da estimativa (%).

Estoques de biomassa

O reflorestamento da Fazenda São Nicolau possui características bastante diversas. Além de apresentar quatro diferentes idades (árvores com 7 a 10 anos), conseqüência de quatro campanhas de plantio, os talhões diferem no espaçamento (3x2m, 3x3m, 6x3m, 5x4m), composição de espécies, densidade relativa e mortalidade de cada uma das espécies. Além disso, o presente trabalho aborda apenas 6 espécies arbóreas do reflorestamento, no qual 50 foram utilizadas (Anexo A).

Devido às situações bastante diferenciadas que as espécies ocorrem no reflorestamento, foram criadas, matematicamente a partir da situação real, situações hipotéticas nas quais se buscou homogeneizar as características das espécies quanto ao espaçamento e densidade relativa nos talhões em que foram plantadas. As duas situações hipotéticas possuem espaçamentos mais comumente utilizados nos reflorestamentos comerciais, 3x3m ($9m^2$) e 3x2m ($6m^2$), e a densidade relativa foi transformada em 100%, imitando situação de plantio homogêneo das espécies.

Esta ação possibilita comparar os resultados deste trabalho e do potencial das espécies deste reflorestamento, com outros plantios florestais apontados na literatura, com espécies comerciais convencionais, ou mesmo com situações de vegetação original de floresta primária da região.

As espécies também foram avaliadas pela distribuição percentual da biomassa total nos compartimentos arbóreos. Inicialmente, buscou-se avaliar o acréscimo ou decréscimo da contribuição percentual dos compartimentos arbóreos com o crescimento da planta, considerando a amostragem por classe de DAP (Anexo B). No entanto, essa medida não forneceu uma tendência muito clara da contribuição dos compartimentos por se tratar de árvores relativamente jovens e com amplitudes de classe de DAP muito pequenas. Por fim, analisou-se a biomassa dos compartimentos considerando os 10 indivíduos por espécie, fornecendo indícios da arquitetura arbórea destas espécies.

Análises químicas

i. **Análise dos teores de carbono e nitrogênio (%):** Foi utilizado o C/N-Analyser do Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) – INPA. Esse equipamento utiliza do método de combustão à seco das amostras (400mg), e seguinte captação e quantificação dos gases resultantes da queima, obtendo-se os teores de carbono e nitrogênio em porcentagem do peso, bem como a relação C/N. Foram coletadas uma amostra composta por compartimento, totalizando 256 análises de carbono (60 árvores, 5 compartimentos – 44 árvores não apresentaram galhos grossos).

Estoques de carbono

Com os teores de carbono das espécies e compartimentos, serão determinados os fatores de conversão de biomassa para carbono (fC). Os valores dos teores serão analisados por ANOVA, com confiança de 95% e 99%, em busca de igualdades estatísticas para viabilizar a determinação de um fC geral. Caso haja diferenças marcantes, será decidido por utilizar-se mais de um fator. Avaliado as diferenças estatísticas entre compartimentos e espécies, toma-se o teor de carbono como numericamente igual ao fator de conversão biomassa-carbono.

Decidido o fator de conversão biomassa-carbono, este será aplicado aos estoques de biomassa determinados, e então os estoques do elemento carbono das árvores das espécies serão revelados. Por fim, o estoque do elemento carbono encontrado a partir do estoque de biomassa deve ser convertido em CO_2-equivalente (1 tonelada de CO_2eq = 0,273 toneladas de

C), para ilustrar a quantidade de créditos de carbono gerados, uma vez que os créditos são numericamente iguais aos estoques de CO_2-equivalente.

Relação C/N dos compartimentos arbóreos

O equipamento utilizado para análise de carbono também nos forneceu a medição do teor de nitrogênio dos compartimentos das espécies. Com esses dados, será feito testes de ANOVA da relação C/N dos compartimentos arbóreos, sem distinção de espécies. O objetivo é gerar informações com aplicabilidade em manejo destes plantios florestais.

RESULTADOS

Teores de carbono e nitrogênio

Primeiramente, foi feita a análise dos resultados das análises químicas, estes apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Teor de carbono, nitrogênio e relação C/N das espécies arbóreas. Teores seguidos do intervalo de confiança da média com 95% de confiança. Letras minúsculas indicam semelhanças estatísticas entre os compartimentos da mesma espécie (Tukey, $p<0,05$).

	Compartimento	n	Teor de C (%)		Teor de N (%)		relação C/N	
Syzygium cumini (Jamelão)	**Folha**	10	48,55 ± 0,3	a	1,28 ± 0,07	a	38,14 ± 1,98	a
	Galho Fino	10	46,71 ± 0,18	b	0,457 ± 0,08	b	108,0 ± 18,62	b
	Galho Grosso	6	47,29 ± 0,24	c	0,20 ± 0,02	c	237,25 ± 18,79	cd
	Tronco	10	47,29 ± 0,21	c	0,183 ± 0,03	c	271,53 ± 45,4	c
	Raiz	10	46,58 ± 0,28	b	0,261 ± 0,08	c	199,4 ± 43,0	d
	Média		**47,28 ± 0,24**					
Tabebuia chrysotricha (Ipê-cascudo)	**Folha**	10	47,15 ± 0,51	a	2,116 ± 0,16	a	22,5 ± 1,77	a
	Galho Fino	10	45,89 ± 0,31	b	0,503 ± 0,07	b	94,6 ± 14,07	b
	Tronco	10	46,06 ± 0,28	b	0,465 ± 0,08	b	103,12 ± 14,61	b
	Raiz	10	46,09 ± 0,46	b	0,52 ± 0,1	b	94,87 ± 20,23	b
	Média		**46,3 ± 0,24**					
Schinus terebinthifolius (Aroeira)	**Folha**	10	50,49 ± 2,15	a	2,195 ± 0,23	a	23,39 ± 2,34	a
	Galho Fino	10	48,98 ± 2,47	a	0,44 ± 0,09	b	117,86 ± 19,72	b
	Galho Grosso	3	47,83 ± 3,35	a	0,304 ± 0,02	b	164,47 ± 96,99	c
	Tronco	10	49,46 ± 1,96	a	0,304 ± 0,04	b	167,16 ± 20,1	c
	Raiz	10	47,64 ± 1,86	a	0,662 ± 0,1	c	74,91 ± 11,89	d
	Média		**49,05 ± 0,91**					
Ceiba speciosa (Paineira)	**Folha**	10	48,82 ± 3,75	a	2,26 ± 0,19	a	21,71 ± 1,42	a
	Galho Fino	10	47,07 ± 3,03	a	0,434 ± 0,06	b	111,99 ± 16,18	b
	Galho Grosso	1	47,71*	-	0,503	-	90,79	-
	Tronco	10	47,3 ± 3,63	a	0,411 ± 0,07	b	120,58 ± 20,26	b
	Raiz	10	46,13 ± 3,22	a	0,563 ± 0,15	b	94,94 ± 28,38	b
	Média		**47,29 ± 1,47**					
Tabebuia aurea (Ipê-amarelo)	**Folha**	10	46,69 ± 0,68	a	2,019 ± 0,25	a	23,69 ± 2,7	a
	Galho Fino	10	46,42 ± 0,38	a	0,449 ± 0,06	b	106,82 ± 14,1	b
	Galho Grosso	1	46,55*	-	0,349		133,2	-
	Tronco	10	46,53 ± 0,49	a	0,245 ± 0,04	c	199,85 ± 32,0	c
	Raiz	10	46,69 ± 0,64	a	0,332 ± 0,07	bc	151,98 ± 31,46	d
	Média		**46,58 ± 0,24**					
Cedrela odorata (Cedro-rosa)	**Folha**	10	47,28 ± 0,98	a	1,758 ± 0,17	a	27,38 ± 2,9	a
	Galho Fino	10	46,52 ± 0,67	ab	0,563 ± 0,04	b	83,35 ± 6,05	b
	Galho Grosso	5	46,54 ± 0,42	ab	0,339 ± 0,1	c	143,57 ± 41,18	c
	Tronco	10	46,79 ± 0,26	a	0,315 ± 0,04	c	154,18 ± 22,89	c
	Raiz	10	45,35 ± 0,98	b	0,734 ± 0,2	b	71,81 ± 21,71	b
	Média		**46,49 ± 0,36**					

Observando-se os teores de carbono dos compartimentos de cada espécie, notam-se poucas diferenças. Para as espécies *C. speciosa, T. aurea* e *S. terebinthifolius* não ocorrem diferenças do teor de carbono dos compartimentos. Nas outras espécies, destaca-se principalmente o teor elevado de carbono nas folhas. Comparando-se as médias totais das espécies, a *S. terebinthifolius* se destaca com teor de 49,05% de carbono, estatisticamente diferente das outras espécies, estas outras semelhantes entre si (95% confiança). Devido essa diferença do teor de carbono entre as espécies, foi decidida a utilização da média total da espécie como numericamente igual ao fator de conversão biomassa-carbono.

As médias dos teores de carbono dos compartimentos (± intervalo de confiança, 95%) foram: folhas 48,16% (± 0,72), galhos finos 46,93% (± 0,62), galhos grossos 47,01% (± 0,43), tronco 47,24% (± 0,65) e raízes 46,41% (± 0,58). Destes, diferencia-se estatisticamente as folhas em relação aos galhos finos e às raízes.

Em relação ao estoques de nitrogênio, destacam-se também as folhas, com média do teor de N de 1,94% (± 0,108). As médias dos teores de nitrogênio dos outros compartimentos foram: galho fino 0,47% (± 0,03), galho grosso 0,29% (± 0,05), tronco 0,32 (± 0,03), raiz 0,51 (± 0,06).

Analisando da mesma forma a relação C/N dos compartimentos sem distinção de espécie, temos os seguintes valores (± intervalo de confiança, 95%): folhas 26,14 (± 1,67), galhos finos 103,77 (± 6,12), galhos grossos 178,67 (± 29,57), tronco 169,4 (± 17,32) e raízes 114,65 (± 15,4).

Estoques de biomassa e carbono

O inventário da biomassa foi feito por espécie, portanto, as condições de cultivo diferenciadas entre cada talhão acarretaram incertezas do inventário bastante altas. A Tabela 4 expõe algumas diferenças responsáveis pelas incertezas do inventário, além da biomassa média das espécies nos talhões que foram plantadas (incertezas das equações de biomassa expostas na Tabela 2).

Tabela 4. Situações de cultivo e biomassa das seis espécies arbóreas dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau.

Espécie	Área	DAP_m	Mort	E (m^2)*	DR*	B ($t \cdot ha^{-1}$)	B (t)	IC (%)
Tabebuia chrysotricha	399,7	6,5	38,8	13,9	5,2	0,86	343,7	220
Tabebuia aurea	434,7	4,7	45,5	16,3	4,8	0,43	186,9	236
Cedrela odorata	313,8	6,7	65,9	13,7	2,8	0,50	156,9	315
Ceiba speciosa	28,5	17,2	21,9	6	13,4	5,19	147,9	90
Schinus terebinthifolius	145,0	7,5	9,1	17,3	10,6	3,37	488,7	249
Syzygium cumini	130,7	16,0	7,4	18	23,8	18,93	2474,2	121

Área (ha): área total dos talhões onde ocorre a espécie; **DAP_m:** diâmetro médio (cm) dos indivíduos encontrados no inventário; **Mort:** mortalidade (%); **E(m^2):** espaçamento médio ponderado dos talhões onde ocorre a espécie; **DR:** média ponderada da densidade relativa da espécie nos talhões; **B($t \cdot ha^{-1}$):** biomassa seca total; **B (t):** biomassa total da espécie**IC(%):** intervalo de confiança da estimativa gerada apenas pelo inventário.

Os principais responsáveis pelas altas incertezas do inventário foram a mortalidade das árvores, extinguindo a espécie de determinadas parcelas do talhão que apresentou, então biomassa zero; os espaçamentos diferenciados dos talhões,de acordo com o ano do plantio, que afeta a quantidade de biomassa no talhão; e a densidade relativa da espécie, que variou bastante, também em função da mortalidade. Todos estes fatores colaboraram com grande amplitude de biomassa entre parcelas dos talhões, e conseqüentemente, grande incerteza.

Aplicando os fatores de conversão biomassa-carbono determinados pelas análises químicas e estatísticas, podemos obter os estoques de carbono presentes no plantio das seis espécies do estudo, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Estoques de biomassa e de carbono das espécies da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).

Espécie	B ($t \cdot ha^{-1}$)	fC	C ($t \cdot ha^{-1}$)
Tabebuia chrysotricha	0,86	0,4630	0,40
Tabebuia aurea	0,43	0,4658	0,20
Cedrela odorata	0,50	0,4649	0,23
Ceiba speciosa	5,19	0,4729	2,45
Schinus terebinthifolius	3,37	0,4905	1,65
Syzygium cumini	18,93	0,4728	8,95

B(t/ha): biomassa total; **fC:** fator de conversão biomassa-carbono; **C(t/ha):** carbono total.

A partir dos dados das Tabelas 4 e 5, as seis espécies do estudo, que representam 17,1% das árvores plantadas e 11,72% da área basal total do reflorestamento, assimilaram um total de 3.798 toneladas de biomassa seca e absorveram 1.799 toneladas de carbono atmosférico, nos 761 ha dos talhões em que foram plantadas (43% da área de plantio efetivo – 1.742 ha). O estoque de 1.799 toneladas de carbono corresponderia a 6.602 t de CO_2-eq, i.e., 6.602 créditos de carbono, apesar de não estarem contabilizadas as emissões por mecanização do plantio, as incertezas das equações alométricas e as altas incertezas do inventário, necessários para geração efetiva dos créditos.

Homogeneizando as condições de cultivos citadas na Tabela 4, foram criadas as situações hipotéticas para comparação do potencial de acúmulo de biomassa das espécies. Tais informações são expostas na Tabela 6.

Tabela 6. Acúmulo de biomassa das espécies em situações hipotéticas de plantio homogêneo em espaçamentos 3x3 (9m²) e 3x2 (6m²).

Espécies	Idade	DAP_m	E (m²)	DR	B (3x3)	B (3x2)
Tabebuia chrysotricha	8,5	6,5	13,9	5,2	25,54	38,31
Tabebuia aurea	9,5	4,7	16,3	4,8	16,22	24,33
Cedrela odorata	9,3	6,7	13,7	2,8	27,18	40,77
Ceiba speciosa	8	17,2	6	13,4	25,80	38,70
Schinus terebinthifolius	8	7,5	17,3	10,6	61,09	91,63
Syzygium cumini	7	16,0	18	23,8	159,08	238,61

Idade: média dos talhões que ocorre a espécie; **DAP_m:** diâmetro médio (cm); **E(m²):** espaçamento médio ponderado dos talhões que ocorrem a espécie; **DR:** média da densidade relativa (%) das espécies nos talhões; **B(3x3):** biomassa total em espaçamento 3x3 ($t \cdot ha^{-1}$); **B(3x2):** biomassa total em espaçamento 3x2 ($t \cdot ha^{-1}$).

Biomassa nos compartimentos arbóreos

A distribuição percentual da biomassa arbórea total foi feita considerando os 10 indivíduos amostrados das espécies. Os resultados estão expostos na Figura 4 a seguir.

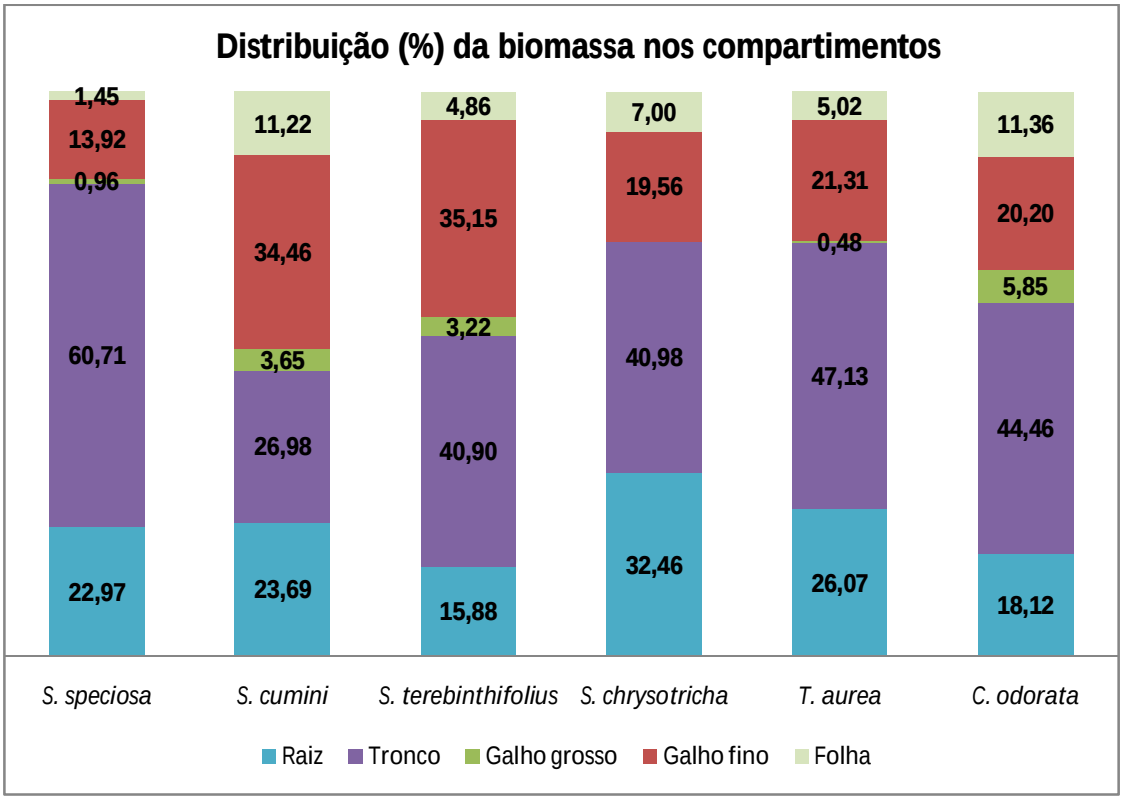


Figura 4. Distribuição percentual da biomassa total nos compartimentos arbóreos de seis espécies dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau.

As médias da contribuição percentual dos compartimentos arbóreos para todas as espécies foram: folha (6,82%), galho fino (24,10%), galho grosso (2,36%), tronco (43,52%) e raiz (23,20%).

A razão entre biomassa aérea e biomassa de raiz também diferenciou as espécies. Os valores de $B_{aérea}/B_{raiz}$ são: *T. chrysotricha* (2,08), *T. aurea* (2,84), *S. cumini* (3,22), *C. speciosa* (3,35), *C. odorata* (4,52) e *S. terebinthifolius* (5,30).

DISCUSSÃO

Teores de carbono e relação C/N

Analisando a Tabela 3, notam-se maiores diferenças estatísticas entre compartimentos da uma mesma espécie do que entre espécies. No entanto, quando se considera 99% de confiança nos testes de ANOVA ($p<0,01$), todos os resultados apresentaram semelhança estatística, com única exceção do teor de carbono médio geral da espécie *S.terebinthifolius* em relação às outras espécies.

Desta forma, os resultados se assemelham aos encontrados por Miranda (2008), que estudou diversas espécies quanto à biomassa e carbono e, de uma forma geral, não encontrou muitas diferenças nos teores de carbono entre espécies para um mesmo compartimento, sendo as maiores diferenças detectadas entre os compartimentos de uma mesma espécie. O autor também afirma que o ritmo de crescimento das espécies, i.e., a característica sucessional não afeta o teor de carbono das mesmas, o que pode ser observado neste trabalho pelos teores de carbono muito semelhantes, em árvores de idades semelhantes e espécies de desenvolvimento diferenciado.

Os resultados médios dos teores de carbono de compartimentos e das espécies concordaram com Higuchi e Carvalho (1994) que afirmaram que os teores de carbono da floresta primária, incluindo diversas espécies, atingem geralmente valores próximos de 48% da biomassa seca (o presente trabalho encontrou média geral de teor de carbono de 47,17%). Em contrapartida, outros trabalhos encontraram valores substancialmente baixos para determinadas espécies, como a *Acacia mearnsii* (Caldeira *et al.*, 2003) e *Pinus spp.* (Balbinot *et al.*, 2008), com valores de 40% e 43,6%, respectivamente.

Em relação ao teor de nitrogênio de compartimentos arbóreos, representados pela relação C/N, o estudo dessa variável sem distinção de espécies evidencia as diferenças do comportamento das árvores em relação ao acúmulo de nitrogênio. Neste caso, notaram-se diferenças significativas ($p<0,05$) da relação C/N entre compartimentos, sendo, em ordem crescente: folha < galho fino = raiz < galho grosso = tronco.

Os valores da relação C/N das folhas das espécies deste estudo, ainda são bastante elevados quando comparados aos valores de algumas espécies de leguminosas, como observado por Torres *et al.* (2005), que estudaram as leguminosas guandu e crotalária, e

encontraram valores de C/N, respectivamente, 11,3 e 11,5. Segundo Nardoto *et al.* (2008), a concentração de N nas folhas se correlaciona positivamente com a relação P/Ca (fósforo e cálcio) no comportamento, i.e., essa relação é inversamente proporcional à relação C/N, indicando que quanto maior a concentração do N (menor relação C/N), proporcionalmente maiores serão as concentrações de P e Ca.

O conhecimento da relação C/N tem aplicações de manejo e ciclagem de nutrientes, relevando-se a importância da copa da árvore (galhos finos e folhas). Segundo Espíndola *et al.* (1997), resíduos com baixa relação C/N, como as folhas das espécies *T. aurea, T. chrysotricha, S. terebinthifolius* e *C. speciosa*, apresentam rápida mineralização, fornecendo grandes quantidades de nutrientes para o solo, enquanto materiais com elevado valor da relação C/N (aproximadamente >25), como as folhas das espécies *C. odorata* e *S. cumini*, sofrem uma decomposição mais lenta, podendo formar uma cobertura morta estável que contribua para a melhoria das características do solo, tais como estrutura, infiltração de água, entre outros.

Estoque de biomassa e carbono das espécies

Localizada ao norte do estado de Mato Grosso, na Amazônia sulina, a floresta tropical da região do estudo, segundo Nogueira *et al.* (2008), estoca 330 $t \cdot ha^{-1}$ de biomassa total. As seis espécies deste estudo estocaram 3.798 toneladas nos 761,1 ha em que estão plantadas, apenas 5,0 $t \cdot ha^{-1}$,porém a biomassa das outras árvores de diferentes espécies não foi contabilizada. Para extrapolar-se o potencial do reflorestamento, com base nessas seis espécies, utilizou-se da área basal destas, 11,72% da área basal total do reflorestamento (Inventário 2008).

Para tanto, considerou-se a área basal total (100%) do reflorestamento referente às seis espécies deste estudo. O resultado é que as seis espécies estocariam, nos 1.742 ha de efetivo plantio, um total de 32.406 t de biomassa ou 18,6 $t \cdot ha^{-1}$. Assim sendo, o reflorestamento de idade média de 8,5 anos (idade das árvores variando de 7 até 10 anos) estoca apenas 5,64% do que a floresta tropical da Amazônia sulina.

Esse valor pouco expressivo de estocagem de biomassa do plantio em relação à floresta é explicado por se tratar de um reflorestamento relativamente jovem, pois 10 anos é

pouco tempo para o crescimento de muitas espécies nativas. Além disso, entre as espécies consideradas para a extrapolação do estoque de biomassa muitas apresentaram baixo crescimento (Tabela 4): a *T. aurea* apresentou DAP médio abaixo de 5 cm, três delas com DAP médio abaixo de 10 cm e, entre as duas de melhor crescimento, a *C. speciosa* possui densidade específica muito baixa (0,26 g·cm³), estocando menos biomassa por unidade de volume.

Por exemplo, caso fosse utilizada apenas a *S. cumini* de maior acúmulo de biomassa (18,93 t·ha^{-1}) com representatividade de 2,52% do total da área basal, o reflorestamento de 1742 ha estocaria 17,1% da biomassa existente na floresta. Para entender o potencial das seis espécies para o acúmulo de biomassa, foram criadas as situações hipotéticas da Tabela 5. Comparando os valores de biomassa por hectare das espécies, nas situações de plantio puro, com dados encontrados na literatura, podemos verificar o potencial destas em relação à outras espécies mais documentadas.

Rondon (2006) encontrou, em plantios de teca (*Tectona grandis*) com 6,3 anos, em região semelhante a do presente trabalho, estoque de biomassa aérea de 58,4 e 54,5 t·ha, respectivamente, para espaçamentos 3x2 e 3x3. Schumacher e Caldeira (2001) avaliaram o *Eucaliptus globulus* com 4 anos em espaçamento 3x2 e encontraram 83,2 t·ha de biomassa aérea. Santana *et al.* (1999) avaliando biomassa acima do solo de espécies de eucalipto, encontraram média de 125 t·ha em plantios com 6,5 anos e espaçamento 3x1,8. Schumacher e Poggiani (1993), em São Paulo, estudaram biomassa aérea de três diferentes espécies, *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*, e encontraram, respectivamente, valores de 126, 273 e 171 t·ha de biomassa nos plantios de 9, 9 e 12 anos e espaçamento 3x2.

Caldeira *et al.* (2001) encontraram 41,1 t·ha de biomassa aérea em plantio de *Acacia mearnsii* aos 7 anos em plantio adensado (3x1,7). Schumacher *et al.* (2008) encontraram em plantio de *Hovenia dulces*, com 18 anos e espaçamento 4x4, 181 t·ha de biomassa aérea. Avaliando a biomassa aérea de sete espécies nativas, Gama-Rodrigues *et al.* (2008) encontraram média de 125 t·ha em plantios de 22 anos e espaçamento 2x2.

Neto *et al.* (2003) testando níveis de adubação em *E. camaldulensis* com 3 anos, encontraram para a testemunha valores de 18,7 e 28,8 t·ha de biomassa total, respectivamente para espaçamentos de 3x2 e 3x3. Hoppe *et al.* (2006) determinaram o estoque de biomassa total em plantio de *Platanus acerifolia* com 5,5 anos e espaçamento 3x5 e encontraram valor

de 45,3 t·ha. Balbinot *et al.* (2008) avaliaram diversas espécies de pinus de diferentes idades em relação ao estoque de biomassa total e encontrou, para a faixa de idade entre 5 e 15 anos, com espaçamento 3x2, total de 168 t·ha.

Fuwape *et al.* (2001) estudaram plantios de *Gmelina arborea* e *Nauclea diderrichii* na Nigéria, com 20 anos e espaçamento 3x3 e encontrou, respectivamente, total de 264 t·ha e 88 t·ha de biomassa aérea. A espécie *E. globulus* foi estudada por Jara *et al.* (2001) em plantios no equador (espaçamento ~3x3), com 6 anos, em regiões de temperatura média de 12ºC, encontraram apenas 4 t·ha, mesmo se tratando de espécie de rápido crescimento. Este valor é muito inferior aos valores encontrados em plantas nas regiões tropicais quentes, evidenciando a atuação do clima no crescimento e assimilação da biomassa nas árvores.

Com vista nos trabalhos citados e atento às diferenças de idade e espaçamento, as espécies *T. chrysotricha, T. aurea, C. odorata* e *C. speciosa* tiveram rendimento abaixo das estudadas em muitos trabalhos, assim como ocorreu com o trabalho de Gama-Rodrigues *et al.* (2008) que estudaram outras espécies nativas de crescimento lento e com a espécie *Nauclea diderrichii.* A espécie *S. terebinthifolius* apresentou desenvolvimento razoável, semelhante à acácia negra de Caldeira *et al.* (2001) e a *Tectona grandis* (Rondon, 2006). A espécie *S. cumini* se mostrou bastante eficiente no crescimento e assimilação de biomassa, superada apenas por algumas espécies de eucalipto, que têm desenvolvimento extremamente rápido.

No entanto, a preferência por plantios puros para maximizar o acúmulo de biomassa e conseqüente seqüestro de carbono limita o manejo a apenas um produto florestal (no caso toneladas de CO_2e), além de suprimir a biodiversidade do local. O reflorestamento com plantios mistos, pelo contrário, favorece o aumento da biodiversidade e, ainda, favorece a exploração de mais de um produto florestal. Como no exemplo do reflorestamento da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT), há a possibilidade de retorno financeiro por meio de sequestro de carbono (*S. cumini* e *S terebinthifolius*), retirada de madeira (*C. odorata, Tabebuia* sp.) e também a colheita de frutas (*S. cumini,* entre outras espécies utilizadas no plantio não tratadas neste trabalho).

Estoque de biomassa dos compartimentos

Foi possível identificar diferentes comportamentos de estocagem de biomassa nos compartimentos (Figura 4). Com exceção da espécie *S. cumini*, que apresentou maior estoque de biomassa nos galhos, todas as outras espécies apresentaram o fuste como principal estocador de biomassa de uma árvore, como esperado. As espécies *T. aurea, T. chrysotricha* e *C. speciosa*, tiveram as raízes como segundo maior estocador de biomassa, seguido por galhos e folhas. A espécie *C. speciosa*, devido ao engrossamento do fuste, característica marcante na em espécies do gênero *Ceiba*, apresentou a biomassa bastante concentrada no fuste, 61%.

Comportamento distinto foi apresentado pelas espécies *S. terebinthifolius* e *C. odorata* que também apresentaram o fuste como principal estocador de biomassa, mas, ao contrário das três citadas acima, apresentaram a copa (principalmente os galhos) como segundo maior estocador de biomassa, e por último a raiz. Apesar disso, as duas espécies apresentaram diferenças marcantes dos estoques na copa, enquanto a espécie *C. odorata* aloca bastante biomassa nas folhas (11,3% contra 5% na espécie *S. terebinthifolius*), aloca relativamente menos biomassa nos galhos, o contrário do que ocorre na espécie *S. terebinthifolius*, com forte desenvolvimento da copa, principalmente devido aos galhos. Apesar de estocarem biomassa de forma semelhante entre os compartimentos, essas pequenas diferenças evidenciam diferentes arquiteturas arbóreas das espécies.

A espécie *S. cumini* destacou-se das outras exatamente por não apresentar o fuste como maior estocador de biomassa. Nessa espécie, o compartimento galho foi o principal contribuidor da biomassa total, seguido do fuste, raízes e folhas. Tais resultados difere daqueles encontrados por Pereira *et al.* (1984) e Soares e Oliveira (2002), que afirmam que a madeira é o maior contribuidor da biomassa de uma árvore, mas sugerem um aumento da contribuição deste compartimento e decréscimo da participação do restante (raízes, galhos, folhas) com o aumento da idade (tamanho) das árvores.

Neste caso, o comportamento diferenciado da espécie (7 anos de idade) pode ser explicado pela arquitetura da árvore, que apresenta copa alta e bastante frondosa (cerca de 50% da biomassa alocada na copa) e maior presença de galhos grossos (ramos antigos). Sendo assim a espécie pode ou não seguir a tendência sugerida em outros trabalhos, em idades mais avançadas.

Segundo Hoppe *et al.* (2006), além da idade, fatores como espécie, tipo de solo e condições de cultivo podem influenciar a partição da biomassa nos compartimentos. Fontes (1999) identificou dois padrões alométricos distintos em espécies arbóreas pioneiras (podendo existir outros), sendo a natureza sucessional das espécies mais um importante fator de influência sobre a distribuição da biomassa.

Lopez-Serrano *et al.* (2005) analisaram as influências do solo e do clima sobre a alometria de árvores do gênero *Pinus*. Constataram que solo e clima influenciam a produtividade máxima das plantas, principalmente condições climáticas recentes (disponibilidade de água durante os meses do ano). Além do máximo de fotossintéticos produzido, tais fatores afetam ainda mais a distribuição da biomassa alocada nos compartimentos. Isso se dá devido prioridades da planta na alocação da biomassa assimilada, que prioriza o crescimento primário (respiração dos tecidos, folhas e raízes finas) em detrimento do crescimento secundário (crescimento lateral e apical do tronco).

Segundo Gonçalves *et al.* (2000), após o estabelecimento de um povoamento no campo, ocorre uma fase de intenso crescimento e acúmulo de nutrientes, com prioridade de alocação de fotoassimilados para a formação dos componentes das copas e sistema radicular. Com o fechamento da copa a canalização dos nutrientes é direcionada para os troncos, uma vez que o auto-sombreamento define uma área foliar máxima limite.

CONCLUSÃO

Os teores de carbono das espécies e dos compartimentos foram semelhantes aos teores encontrados na literatura para espécies arbóreas, i.e., entre 45% e 50% da biomassa arbórea ou dos compartimentos são formados por carbono

No caso da relação C/N, as principais diferenças apareceram entre os compartimentos, sendo folha<galho fino=raiz<galho grosso=tronco, i.e., maior teor de nitrogênio no compartimento folha, importante item da ciclagem de nutrientes e características físicas do solo.

Sobre a distribuição de biomassa nos compartimentos, foram identificados comportamentos distintos, sendo *T. aurea*, *T. chrysotricha* e *C. speciosa* com maior acumulo no tronco, seguido de raízes, e copa (com menores valores da relação entre biomassa aérea e de raízes); *C. odorata* e *S. terebinthifolius* apresentaram maior acúmulo no tronco, seguido da copa e raízes (maiores valores da relação biomassa aérea e raízes); e *S. cumini*, com cerca de 50% da biomassa na copa, seguido de tronco e raízes.

As espécies mais eficientes na assimilação de biomassa (e de carbono por conseqüência) foram as espécies Syzygium cumini e Schinus terebinthifolius.

Nos 1.742 ha dos reflorestamentos da Fazenda São Nicolau, com média de 8,5 anos, as seis espécies deste estudo (que representam 11,72% da área basal total) seqüestraram um total de 3.798 t de biomassa. Quando extrapolado este valor para todo o plantio, representa 5,64% da biomassa da floresta tropical. O reflorestamento das seis espécies também é reponsável pela retirada de 6.602 toneladas de CO2-eq da atmosfera.

CONCLUSÃO GERAL

As equações alométricas de biomassa desenvolvidas nesse trabalho contemplam espécies que não possuem tais informações, e nos permitiram a estimativa da biomassa destas, com valores satisfatórios de precisão, considerando o reduzido esforço de campo (baixa amostragem por espécie), porém um elevado número de espécies.

As equações específicas de biomassa geradas são recomendadas para uso nos reflorestamentos localizados na região norte do estado do Mato Grosso, sul da Amazônia.

O conhecimento da distribuição percentual da biomassa em determinada espécie permite a divisão proporcional da biomassa dos compartimentos arbóreos e favorece estudos que avaliam a exportação de nutrientes pela colheita florestal, estoques de nutrientes dos resíduos da colheita mantidos na floresta e avaliação de estoque de fitomassa e nutrientes no solo da floresta causada por morte natural.

As características das espécies reforçam a importância de plantios florestais no combate ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, pela presença de grande quantidade de carbono na biomassa vegetal, e pelo bom desenvolvimento de algumas espécies que valorizam o carbono como um produto florestal, além de fornecerem outros produtos, madeireiros e não-madeireiros.

Desta forma, os reflorestamentos da Fazenda São Nicolau, apesar de jovem e com pouco estoque de biomassa em relação à floresta tropical, reafirmam a importância de projetos de seqüestro de carbono no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e no mercado internacional deste elemento.

BIBLIOGRAFIA

Alves, D.; Soares, J.V.; Amaral, S.; Mello, E.M.K.; Almeida, S.A.S.; Silva, O.F.; Silveira, A.M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 3: 451-461.

Ares, A.; Boniche, J.; Quesada, J.P.; Yost, R.; Molina, E.; Smyth, T.J. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono em plantaciones de palmito em Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 26(2): 19-30.

ASTM, 2002. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. Designation: D 2395-02. ASTM International, West Conshohocken, PA, SA, 8 pp.

Balbinot, R.; Valério, A.F.; Sanquetta, C.R.; Caldeira, M.V.W.; Silvestre, R. 2008. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades do sul do estado do Paraná. *Floresta*, 38(2): 317-324.

Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for for Tropical Forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4):881-902.

Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.; Barichello, L.R.; Vogel, H.L.M. 2003. Determinação de carbono orgânico em povoamento de Acácia negra plantado no norte do RS. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, 1(2): 47-54.

Carvalho, J.A.; Higuchi, N.; Araújo, T.M.; Santos, J.C. 1998. Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. *Journal of Geophysical Resourch*, 103(11): 13195-13199.

Castilho, C.V.; Magnusson, W.E.; Nazaré, R.; Araújo, O. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian. *Forest Ecology and Management*, 234: 85-96.

Chave, J.; Condit, R.; Lao, S.; Caspersen, J.P.; Foster, R.B.; Hubbel, S.P. 2003. Spatial and temporal variation in biomass of a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal Ecology*, 91: 240-252.

Chaves. J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Folster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.P.; Nelson, B.W.; Ogawa, H.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145:87-99.

Cole, T.G.; Ewel, J.J. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, 229: 351–360.

Couto, H.T.Z.; Bastos, N.L.M. 1987. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no estado de São Paulo. *IPEF*, 37: 33-44.

Engel, V.L.; Parrota, J.A. 2001. Evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forestry Ecology and Management*, 152:169-181.

Espíndola, J.A.A.; Guerra, J.G.M.; Almeida, D.L. de. 1997. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: Embrapa-*Agrobiologia*, 20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

Evans, J.; Turnbull, J.W. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics: The role, silviculture, and use of planted forests for industrial, social, environment, and agroforestry purposes.* Oxford University Press, New York, NY, US. 467pp.

Fearnside, P.M.; Leal Jr., N.; Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the Global Carbon Budget: Biomass, combustion efficiency, and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Jounal of Geophysical Research*, 98(9):733-743.

Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: *Seminário Emissão x Sequestro de CO2: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil*. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. p. 95-124.

Fearnside, P.M. 2002. Fogo e emissão dos gases de efeito estufados ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, 16(44): 98-123.

Fearnside, P.M. 2006. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, 39(231): 76-78.

Fearnside, P.M. 2008. Deforestation of Amazonia. In: A.S. Goudie & D.J. Cuff (eds.) *Encyclopedia of Global Change: Environmental Change and Human Society*. Oxford University Press, New York, U.S.A. [Atualização da 1ª edição, de 2002].

Fearnside, P.M. 2009. Estoques e fluxos de carbono na Amazônia como recursos naturais para geração de serviços ambientais. In: S.M.F. Buenafuente (ed.) *Amazônia: Dinâmica do carbono e impactos sócioeconômicos e ambientais*. Editora da Universidade Federal de Roraima (EdUFRR), Boa Vista, Roraima, Brasil.

Ferreira, C.A.; Martins, E.G.; Silva, H.D. 2004. Equações para cálculo de volume e peso de compartimentos aéreos de árvores de Gravillea robusta aos 8 anos de idade. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 4:31-45.

Fontes, M.A.L. 1999. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. *Scientia Forestalis*, (55):79-87.

Fuwape, J.A.; Onyekwelu, J.C.; Adekunle, V.A.J. 2001. Biomass equations and estimation for *Gmelina arborea* and *Nauclea diderrichii* stands in Akure forest reserve. *Biomass and Bioenergy*, 21:401–405.

Gama-Rodrigues, A.C.; Gama-Rodrigues, E.F.; Barros, N.F. 2008. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudoeste da Bahia. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32:1165-1179.

Gonçalves, J.L.M.; Stape, J.L.; Benedeti,V.; Fessel, V.A.G.; Gava, J.L. 2000. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedeti, V. (Eds). *Nutrição e fertilização florestal*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP. p.3-57.

Hennigar, C.R.; McLean, D.A.; Amos-Binks, L.J. 2008. A novel approach to optimize management strategies for carbon stored in both forests and wood products. *Forest Ecology and Management*, 256: 786-797.

Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Biomassa florestal e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: *Emissão x Sequestro de CO_2 - Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil*. Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. p. 125-153.

Higuchi, N.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2): 153-166.

Higuchi, N.; Chambers, J.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Pinto, A.C.M.; Silva, R.P.; Rocha, R.M.; Tribuzy, E.S. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, 34 (3): 295-304.

Hoppe, J.M.; Witschoreck, R.; Schumacher, M.V. 2006. Estimativa de biomassa em povoamento de *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. Estabelecido no município de Dom Feliciano, RS. *Ciência Florestal*, 16(4): 463-471.

IBGE 1992. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. p.91.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. *Good practice guidance for land use, land-use changes and forestry*. Institute for Global Environment Strategies, Kanagawa, Japan.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. www.ipcc.ch.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Changes: Synthesis Report*. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jara, L.F.; Gutiérrez, F.; Paspuel, A.; Ordonéz, G.; Asimbaya, P. 2001. Monitoreo de plantaciones forestales para fijación de carbono en el Ecuador. In: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. PROFAFOR, Valdivia, Chile. p. 1-21.

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 forest. *Forest Ecology and Management*, 146, 199-209.

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: 208–221.

Lima, A.J.N.; Teixeira, L.M.; Carneiro, V.M.C.; Santos, J.; Higuchi, N. 2007. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus, AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. *Acta Amazonica*, 37(1): 49-54.

López-Serrano, F.R.; García-Morote, A.; Andrés-Abellán, M. 2005. Site and weather effects in allometries: A simple approach. *Forest Ecology and Management*, 215:251-270.

Luizão, F.J. 2007. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência Cultura*, 59(3): 31-36.

Man Yu, C. 2004. *Sequestro florestal no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas*. Annablume, Brasília. IEB - Instituto Internacional de Educação no Brasil, São Paulo, SP. p.278.

Mastrandrea, M.D.; Schneider, S.H. 2005. *Global warming. World Book Online Reference Center*. 2005. World Book, Inc. http://www.worldbookonline.com

Mesquita, R.C. 2000. Management of advanced regeneration in secondary forests of Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 130: 131-140.

Miranda, D.L.C. 2008. *Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em área de restauração florestal no sudoeste paulista*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, Brasil. 114pp.

Nardoto, G.B.; Ometto, J.P.H.B; Ehleringer, J.R.; Higuchi, N.; Bustamante, M.M.C.; Martinelli, L.A. 2008. UnderstandinG the influences of spatial patterns on N availability within the Brazilian Amazon Forest. *Ecosystems*, 11:1234-1246.

Návar, J. 2008. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 257:427–434.

Nelson, B.W.; Mesquita, R.; Pereira, J.L.G.; Souza, S.G.A.; Batista, G.T.; Couto, L.B. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*, 117:149-167.

Neto, S.N.O.; Reis, G.G.; Reis, M.G.F.; Neves, J.C.L. 2003. Produção e distribuição de biomassa em *E. camaldulensis* em resposta à adubação e ao espaçamento. *Revista Árvore*, 27(1): 15-23.

Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W.; Barbosa, R.I.; Keiser, E.W.H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256:1853-1867.

Overman, J.P.M.; Witte. H.J.L.; Saldarriaga, J.G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Jounrnal of Tropical Ecology*, 10(2):207-218.

Pacheco, M.R.P.S; Helene, M.E.M. 1990. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO_2. *Estudos Avançados*, 4(9):204-220.

Parrota, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catlyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forestry Ecology and Management*, 99:1-7.

Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 11:1633-1644.

Pereira, A.R.; Barros, N. F.; Andrade, D.C.; Campos, P.T.A. 1984. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. *Brasil Florestal*, 59:27-37.

Pereira, J.F.; Correia, A.V.; Correia, A.P. 2005. *Principais impactos das alterações climáticas na produtividade da floresta em Portugal: Projecto SIAM.* In: Editora SPCF, 5º Congresso Florestal Nacional, Viseu, Viseu, Portugal. p.7.

Rodrigues, E.R.; Cullen Jr., L.; Beltrame, T.P.; Moscogliato, A.V.; Silva, I.C. 2007. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. *Revista Árvore*, 31(5): 941-948.

Rondon, E.V. 2006. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado do Mato Grosso. *Revista Árvore*, 30(3): 337-341.

Sampaio, F.A.R.; Fontes, L.E.F.; Costa, L.M.; Jucksch, I. 2003. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um argissolo amarelo sob floresta tropical amazônica após a queima e cultivo com arroz. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 27:1161-1170.

Sanquetta, C.R.; Watzlavick, L.F.; Schumacher, M.V.; Mello, A.A. 2003. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, 1(3): 33-40.

Santana, R.C.; Barros, N.F.; Neves, J.C.L. 1999. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. *Scientia Forestalis*, 56:155-169.

Santos, J. dos; Neto, F.P.; Higuchi, N.; Leite, H.G.; Souza, A.L.; Vale, A.B. do. 2001. Modelos alométricos para estimar fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia Central. *Revista Árvore*, 25(4):445-454.

Schneider, P.R.; Finger, C.A.G.; Sobrinho, V.G.; Schneider, P.S.P. 2005. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). *Ciência Florestal*, 15(4): 391-402.

Schumacher, M.V.; Poggiani, F. 1993. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de E. camaldulensis, grandis e torelliana em anhembi, SP. *Ciência Florestal*, 3(1):21-34.

Schumacher, M.V.; Caldeira, M.V. 2001. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. *Ciência Florestal*, 11(1):45-53.

Schumacher, M.V.; Brun, E.J.; Illana, V.B.; Dissiuta, S.I.; Agne, T.L. 2008. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* Thunb., plantado na FEPAGRO Florestas, Santa Maria, RS. *Ciência Florestal*, 18(1): 27-37.

Silva, H.D.; Ferreira, C.A.; Corrêa, R.S.; Bellote, A.F.J.; Tussolini, E.L. 2004. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de E. benthamii. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 49: 83-95.

Silva, J.N.M.; Araújo, S.M. 1984. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro na floresta nacional do Tapajós. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 8(9): 16-25.

Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese doutorado. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. Manaus, AM, Brasil. 135pp.

Smith, N.J.H.; Falesi, I.C.; Alvim, P.T.; Serrão, E.A.S. 1996. Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: innovation and resiliency in pioneer and older settled areas. *Ecological Economics*, 18:15-27.

Soares, C.P.B.; Oliveira, M.L.R. 2002. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, 26(5):533-539.

Sokal, R.R., Rohlf, F.J. 1997. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research.* 3ed. W.H. Freeman and Company. New York, NY, USA.p.887.

Thomas, C., Martins, C.A., Schneider, P.R., Finger, C.A.G., Costa, A.F., Vale, A.T. 2006. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16(3): 319-327.

Torres, J.L.R.; Pereira, M.G.; Andriolli, I.; Poliodoro, J.C.; Fabian, A.J. 2005. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 29:609-618.

Veiga, R.A.A.; Brasil, M.A.M.; Carvalho, C.M. 1998. Aboveground biomass equations for 7-year-old *Acacia mangium* Willd. In Botucatu, Brasil. *Integrated Tools Proceedings*, 16(20): 430-434.

Verneyere, L. 2007. *Proposition de méthodologie d'évaluation des stocks de carbone des sols dans le projet «Puits de carbone PEUGEOT-ONFi» (Fazenda São Nicolau, Mato Grosso, Brésil)*. Dissertação de Mestrado. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Paris, FR. p.87.

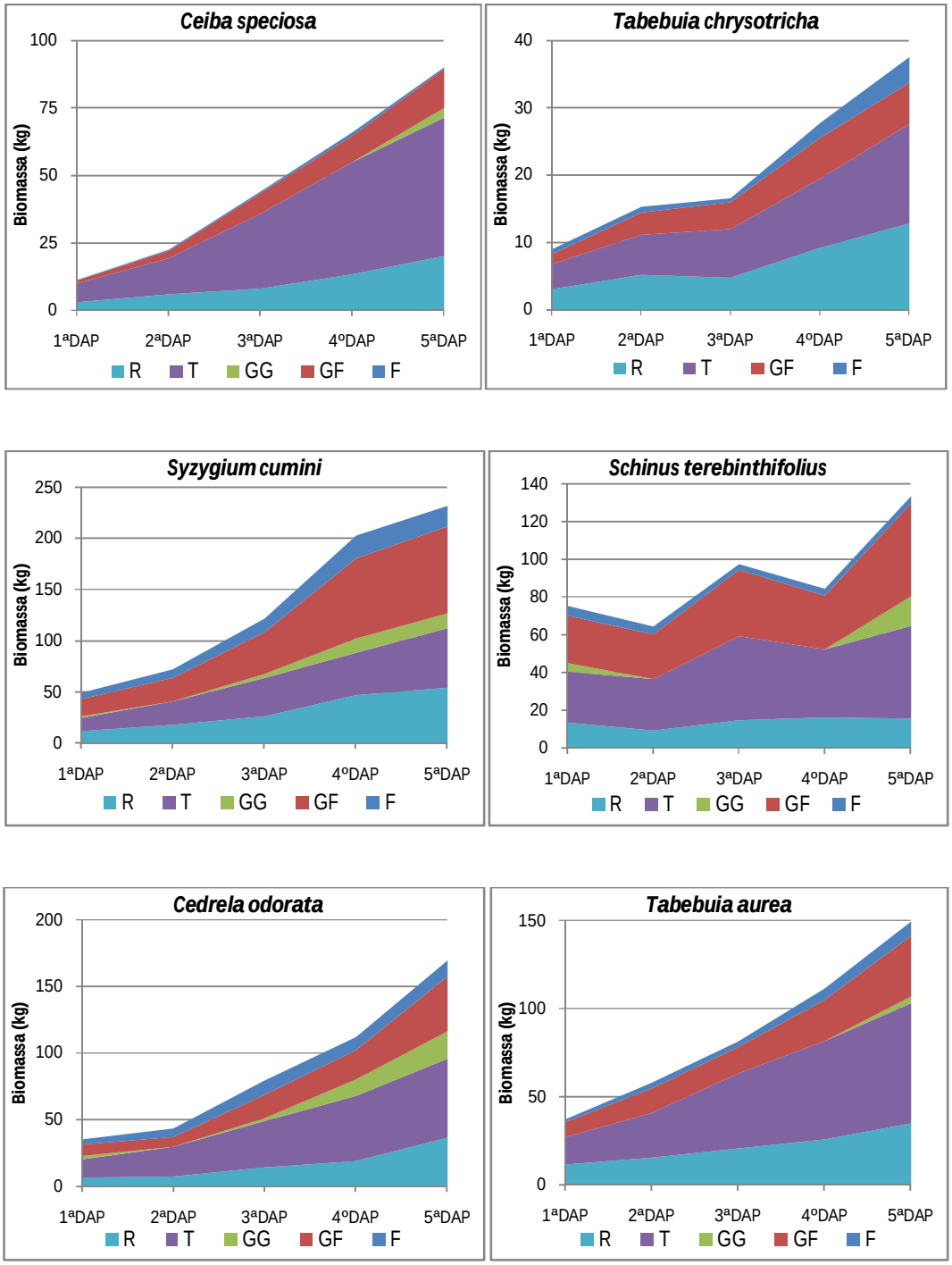
Watzlavick, L.F. ; Sanquetta, C.R. ; Arce, J.E. ; Balbinot, R. 2003. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do estado do Paraná. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, 1(2): 63-68.

West, G.B.; Brown, J.H.; Enquist, B.J. 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*, 276:122-126.

Zianis, D.; Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187:311-332.

ANEXOS

ANEXO A – Lista e características dos talhões do reflorestamento da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT) em que as seis espécies do presente trabalho ocorrem.

NOME	Área (ha)	Ano de plantio	Espaçamento	Espécies
16	10,39	1999	5x4	*C. odorata*
26	5,44	2001	3x2	*S. terebinthifolius*
31	21,81	2000	3x3	*T. chrysotricha*
32	27,64	1999	5x4	*C. odorata, T. aurea*
37	13,17	2001	3x2	*T. chrysotricha, C. odorata*
38	25,55	1999	5x4	*C. odorata, T. aurea, T. chrysotricha*
39	29,41	2001	3x2	*T. chrysotricha*
40	23,44	1999	5x4	*T. aurea, T. chrysotricha*
45	14,37	1999	5x4	*C. odorata, T. aurea, T. chrysotricha*
50	10,96	1999	5x4	*C. odorata*
51	22,13	1999	5x4	*T. aurea*
52	17,14	1999	5x4	*T. aurea*
55	24,81	1999	5x4	*S. terebinthifolius, T. aurea*
60	9,83	2002	6x3	*S. terebinthifolius, T. chrysotricha*
63	23,54	2002	6x3	*S. cumini*
65	27,71	2002	6x3	*S. terebinthifolius, T. chrysotricha*
72	18,72	2002	6x3	*S. terebinthifolius*
73	21,85	2002	6x3	*S. terebinthifolius*
78	29,79	2002	6x3	*S. cumini, S. terebinthifolius*
7d	6,82	2001	3x2	*S. terebinthifolius*
9a	2,69	2001	3x2	*C. odorata*
10a	28,54	2001	3x2	*C. speciosa, C. odorata, T. aurea, T. chrysotricha*
10d	53,52	2001	3x2	*C. odorata, T. aurea*
11a	40,53	2002	6x3	*S. cumini, T. aurea, T. chrysotricha*
11b	10,11	2000	5x4	*C. odorata, T. aurea*
11c	36,83	2002	6x3	*S. cumini, T. chrysotricha*
12a	8,75	1999	5x4	*T. aurea*
14b	44,43	2001	3x2	*T. chrysotricha, C. odorata*
28a	14,27	1999	5x4	*C. odorata, T. aurea*
41a	45,17	1999	5x4	*C. odorata, T. aurea, T. chrysotricha*
42a	33,66	1999	5x4	*T. aurea*
44a	13,01	1999	5x4	*C. odorata, T. chrysotricha*
49a	19,17	1999	5x4	*T. aurea*
59a	25,87	2001	3x2	*T. chrysotricha, T. aurea*
TOTAL	761,07			
34 talhoes				

ANEXO B – Estoque de biomassa (kg) das amostras coletadas (n=10) por compartimento (raiz-R, tronco-T, galho grosso-GG, galho fino-GF e folha-F), em 5 classes de DAP (n=2/classe) nas seis espécies arbóreas do reflorestamento da Fazenda São Nicolau (Cotriguaçu-MT).