

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais Renováveis – PBTRN
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT

**DENSIDADE DE MADEIRA E ALOMETRIA DE ÁRVORES EM
FLORESTAS DO ‘ARCO DO DESMATAMENTO’: IMPLICAÇÕES
PARA BIOMASSA E EMISSÃO DE CARBONO A PARTIR DE
MUDANÇAS DE USO DA TERRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

EULER MELO NOGUEIRA

Manaus, Amazonas
Fevereiro 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
Programa Integrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais Renováveis – PBTRN
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT

**DENSIDADE DE MADEIRA E ALOMETRIA DE ÁRVORES EM
FLORESTAS DO ‘ARCO DO DESMATAMENTO’: IMPLICAÇÕES
PARA BIOMASSA E EMISSÃO DE CARBONO A PARTIR DE
MUDANÇAS DE USO DA TERRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

EULER MELO NOGUEIRA

Orientador: Dr. PHILIP MARTIN FEARNSIDE

Co-Orientador: Dr. Bruce Walker Nelson

Tese apresentada ao PPG-BTRN
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em
Ciências de Florestas Tropicais, área
de concentração: Manejo Florestal.

Manaus, Amazonas
Fevereiro 2008.

N778

Nogueira, Euler Melo

Densidade de madeira e alometria de árvores em florestas do “Arco do desmatamento”: implicações para biomassa e emissão de carbono a partir de mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira / Euler Melo Nogueira .--- Manaus : [s.n.], 2008.
xviii, 133 f. : il.

Tese (doutorado) --- INPA/UFAM, Manaus, 2008

Orientador : Philip Martin Fearnside

Co-Orientador : Bruce Walker Nelson

Área de concentração : Manejo Florestal

1. Biomassa florestal – Amazônia. 2. Madeira – Densidade - Amazônia.
3. Aquecimento global. 4. Carbono. I. Título.

CDD 19. ed. 634.9285

Sinopse:

Este estudo apresenta estimativas de densidade de madeira, umidade, alometria, e estoque da biomassa para a região sul e sudoeste do ‘arco do desmatamento’, e ajusta as estimativas de biomassa e emissão de carbono para toda a Amazônia brasileira.

Palavras-chaves: Aquecimento Global, Biomassa, Densidade de madeira, Alometria, Arco do desmatamento, Amazônia.

Dedico

Ao Senhor Deus, criador dos céus e da Terra, aos meus pais José Anísio Nogueira e Lindaura Martins Melo Nogueira, aos meus irmãos: Georgheton e família, Liliane, Dayana e Maria Adonay.

Agradecimentos

Ao Senhor Deus, criador dos céus e da Terra: *‘Os que conhecem o teu nome confiam em ti, pois tu, Senhor, jamais abandonas os que te buscam’* (Salmo 9:10, Bíblia Sagrada, Nova Versão Internacional – NVI)

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade de formação,

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de estudos,

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq,

Eu sou especialmente grato ao Dr. Philip Martin Fearnside pela orientação, constante apoio e pela amizade,

Agradeço ao Dr. Bruce Walker Nelson, pela amizade, sugestões e revisão dos manuscritos,

Expresso minha gratidão ao Dr. José Francisco, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais (CFT-INPA), pelo constante encorajamento, a atenção e pela amizade,

Agradeço ao Dr. João B. Ferraz por disponibilizar um veículo para trabalho de campo,

Agradeço a todos os funcionários da Fazenda São Nicolau (ONF-Brasil/PEUGEOT), por disponibilizar uma área de coleta, acomodação e alimentação na área do projeto ‘Poço de Carbono’. Sou grato ao Vespaziano, Paulo e Valéria por todo o apoio logístico,

Agradeço à Rohden Indústria Lígnea Ltda pela disponibilização de uma área de floresta e por suporte de campo, a Vicente DaRiva e ao Sr. Imbrózio pelo acesso nas suas terras,

Sou muito grato à família Knidel e a Cecílio e família pela acomodação em Juruena, e Alzelindo Chaves Vieira (Pé-na-cova), Leandro José, Joel Rodrigues do Carmo e José Carlos

de Lima pelo trabalho de campo. Também agradeço a Evandro Selva e Gheorges W. Rotta pelo apoio de laboratório,

Agradeço a todos da Igreja Presbiteriana de Juruena e da Igreja Batista de Alta Floresta, pela amizade e comunhão,

Aos professores do Programa CFT-INPA e aos colegas de classe,

Aos funcionários do INPA que direta ou indiretamente tornaram possível este estudo,

Aos amigos de república, meus agradecimentos pela amizade e companheirismo: ao Allan, André, Geraldo, Luciano, Márcio e Ronaldo; e especialmente ao irmão-amigo Ulysses e sua esposa Kelly. Agradeço aos amigos mais recentes na residência do SEBRAM: José, Max, Linelma, ao Pr. Idenildo e família,

Sou muito grato aos irmãos da Igreja Batista de Cachoeirinha, minha família em Manaus. Agradeço especialmente os jovens, atores de eternas lembranças,

Aos colegas e professores do curso de EBD no SEBRAM.

“... porque o Senhor era com José”

Genesis 39:2, 21, 23

RESUMO

Incertezas nas estimativas de biomassa são a principal causa de incertezas nas estimativas de emissão de gases de efeito estufa na Amazônia. Os resultados apresentados neste estudo reduzem as incertezas nas estimativas de biomassa acima do solo, particularmente no sul e sudoeste da Amazônia brasileira (SSWA), regiões inseridas no ‘arco do desmatamento’. No Capítulo I novos dados de densidade de madeira obtidos nas florestas da região SSWA (403 árvores identificadas em nível de espécie e gênero) foram combinados com os inventários de volume de madeira produzidos pelo Projeto RadamBrasil (1973-1983). A área de cada unidade de vegetação, definidas pela intersecção entre tipos de florestas mapeados e divisão geopolítica dos estados, foi utilizada para obter a densidade de madeira média ($0,583 \text{ g cm}^{-3}$) para toda a região SSWA. Esta média é 13,6% menor do que o valor utilizado para esta região em estimativas prévias. A média de $0,642 \text{ g cm}^{-3}$ foi obtida para a Amazônia brasileira como um todo, a partir das novas estimativas para as florestas da porção SSWA juntamente com estimativas para as outras regiões da Amazônia, corrigidas para a variação radial (-5,3%). A nova média de densidade é 7% menor que a média anteriormente estimada para a Amazônia brasileira: $0,69 \text{ g cm}^{-3}$. O impacto sobre as estimativas de biomassa e emissão de carbono é substancial porque a redução é maior em tipos de floresta sob maior desmatamento. Para 1990, com $13,8 \times 10^3 \text{ km}^2$ de desmatamento, as emissões para a Amazônia brasileira seriam reduzidas por $23,4\text{-}24,4 \times 10^6 \text{ Mg CO}_2\text{-equivalente C/ano}$ (para cenários de gás-traço alto e baixo), ou 9,4-9,5% da emissão grossa e 10,7% da emissão líquida comprometida, ambas excluindo o solo. No Capítulo II foram avaliadas relações lineares que descrevem a variação radial da densidade para árvores em floresta densa na Amazônia central (CA) e desenvolvidas novas relações para árvores em floresta aberta no sul da Amazônia (SA). A relação linear descrita na CA para a variação da densidade ao longo do fuste é similar para árvores no SA ($p = 0,144$). Também é demonstrado que as árvores no sul da Amazônia possuem conteúdo de umidade no fuste significativamente maior ($0,416 \pm 0,068 \text{ SD}$; $n = 223$) do que em árvores na CA ($0,38$; $n = 50$). O conteúdo de umidade tem uma forte relação inversa com a densidade básica da madeira, o que explica o menor conteúdo de umidade nas árvores na CA comparado ao SA. No Capítulo III é demonstrado que na CA as árvores são mais altas para um dado diâmetro que em florestas abertas dominadas por bambu e densas livres de bambu, no sudoeste da Amazônia (SW), bem como em florestas abertas no sul da Amazônia (SA). O impacto sobre as estimativas de biomassa foram respectivamente -11,0%, -6,2% e -3,6%. Isto sugere que a estimativa da Comunicação Nacional Brasileira no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas requer redução. As relações observadas entre diâmetro e altura foram inconsistentes com a suposição da teoria de ecologia metabólica e reforça o argumento que o expoente escalar alométrico varia em florestas sobre diferentes substratos ou com diferentes níveis de distúrbios naturais. No Capítulo IV é apresentada nova equação alométrica para estimativa de biomassa desenvolvida a partir de árvores diretamente pesadas no SA e equações para estimativas do volume do fuste na CA e no SA. Estas equações foram utilizadas para aperfeiçoar o modelo de biomassa historicamente aplicado na Amazônia, que se baseia em inventários de volume de madeira em larga-escala. Nova estimativa de biomassa foi produzida para a Amazônia brasileira incorporando novos valores de densidade de madeira, correções para incertezas em estimativa de volume de madeira e fatores utilizados para adicionar o volume dos fustes de pequenas árvores e biomassa das copas. Considerando todos os ajustes, o mapa indica estoque de $125,4 \text{ Pg}$ ($=10^{15} \text{ g}$) de biomassa seca (acima e abaixo do solo) para áreas originalmente florestadas na Amazônia Legal Brasileira ($104,2 \text{ Pg}$ somente acima do solo) no período dos inventários do RadamBrasil, portanto antes que intensivos desmatamentos tivessem ocorrido na região. Se as áreas desmatadas até 2006 forem eliminadas do cálculo, excluindo agricultura, pastagens e vegetação de floresta secundária, a estimativa de biomassa seca estocada é reduzida para $113,3$ e $94,2 \text{ Pg}$ (acima e abaixo do solo, e somente acima do solo).

SUMMARY

Uncertainties in biomass estimates are the main source of uncertainty in estimates of greenhouse-gas emissions in Amazonia. The results presented in this study reduce the uncertainties in estimates of above-ground biomass, particularly in the southern and southwestern portions of the Brazilian Amazon (SSWA), which are in the 'arc of deforestation.' In Chapter I new data on wood density obtained in the forests of the SSWA area (403 trees identified to species or genus) are combined with the inventories of wood volume produced by Projeto RadamBrasil (1973-1983). The area of each vegetation unit, defined as the intersection among forest types and the boundaries of the nine states in Brazilian Amazonia, was used to calculate a mean wood density of 0.583 g.cm^{-3} for the SSWA as a whole. This average is 13.6% lower than the value used for this area in previous estimates. An average of 0.642 g.cm^{-3} was obtained for the Brazilian Amazon as a whole, starting from the new estimates for the forests of the SSWA together with estimates for the other areas of Amazonia, corrected for radial variation (-5.3%). The new density average is 7% lower than the average previously used for the Brazilian Amazon (0.69 g.cm^{-3}). The impact on estimates of biomass and carbon emission is substantial because the reduction is largest in the forest types experiencing the most rapid deforestation. For 1990, with $13.8 \times 10^3 \text{ km}^2$ of deforestation, the estimated emission for the Brazilian Amazon would be reduced by $23.4\text{-}24.4 \times 10^6 \text{ CO}_2\text{-equivalent Mg C/year}$ (for high and low trace-gas scenarios), or 9.4-9.5% of the gross emission and 10.7% of the net committed emission, both excluding the soil. In Chapter II linear relationships were appraised that describe the radial variation of density for trees in dense forest in the central Amazon (CA) and new relationships are developed for trees in open forest in the southern Amazon (SA). The linear relationship described in CA for the variation of density along the bole is similar for trees in SA ($p = 0.144$). It is also demonstrated that the trees in the southern Amazon have significantly higher humidity content in their boles ($0.416 \pm 0.068 \text{ SD}$; $n = 223$) than do trees in CA (0.38 ; $n = 50$). Moisture content of the bole had a strong inverse relationship with basic wood density and explains the lower moisture content in the trees in CA relative to SA. In Chapter III CA trees are shown to be taller for any given diameter than they are in bamboo-dominated dense forests, bamboo-free dense forests and open forests in the southwestern Amazon (SW), as well as in the open forests of the southern Amazon (SA). The impact on biomass estimates is -11.0%, -6.2% and -3.6%, respectively. This suggests that the estimate of the Brazilian National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change requires revision. The relationships observed between diameter and height were inconsistent with the assumptions of metabolic ecological theory and the findings reinforce the argument that the scalar allometric exponent varies among forests growing on different substrata or with different levels of natural disturbance. In Chapter IV new allometric equations for biomass are derived starting from trees weighed directly in SA and from equations for estimates of volume of the bole in CA and in SA. These equations were used to improve the biomass model historically applied in Amazonia, which is based on large-scale inventories of wood volume. A new biomass estimate is produced for the Brazilian Amazon incorporating new values of wood density, corrections for uncertainties in estimates of wood volume and new values for factors used to add the volume of the boles of small trees and the biomass of the crowns. Considering all adjustments the biomass map indicates average biomass of 125.4 Pg ($=10^{15} \text{ g}$) dry weight (above-ground + below-ground) for originally forested areas in the Brazilian Legal Amazon as a whole (104.2 Pg for above-ground only) at the time of the RadamBrasil inventories, which was before intensive deforestation had occurred in the region. If areas deforested through 2006 are eliminated, excluding agriculture, pasture and secondary forest vegetation, the estimation of dry biomass storage was reduced to 113.3 and 94.2 Pg (above-ground + below-ground and only above-ground).

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: Densidade de madeira em florestas do ‘Arco do desmatamento’: Implicações para biomassa e fluxo de carbono a partir de mudanças da terra na Amazônia brasileira.

Tabela 1. Detalhes de várias médias obtidas para todo o disco e para o cerne em duas posições ao longo do fuste.....	33
Tabela 2. Densidade de madeira média para cada unidade de vegetação no SSWA baseado sobre volume de madeira em três publicações do RadamBrasil, e nas tabelas de densidade por táxon deste estudo e de Fearnside (1997).....	38
Tabela 3. Nova média de densidade de madeira para a Amazonia Brasileira (atualizada a partir de Fearnside, 1997): médias ponderadas pelo volume por zona de vegetação, tipo de vegetação e estado (g cm^{-3}).....	39

Capítulo II: Regressões lineares para normalização de densidade de madeira em estimativas de biomassa de florestas na Amazônia.

Tabela 1. Equações previamente publicadas que relacionam a densidade da madeira com diferentes conteúdos de densidade. São reportadas somente equações que foram usadas em prévios estudos sobre densidade de madeira de espécies tropicais.....	48
Tabela 2. Regressões lineares desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (CA) testadas neste estudo.....	49
Tabela 3. Novas regressões lineares desenvolvidas em florestas abertas no sul da Amazônia (SA) propostas neste estudo.....	53
Tabela 4. Correlação entre o padrão de variação radial (%RV) na densidade com o diâmetro e a altura total em árvores nos dois tipos de florestas: Floresta densa, Amazônia central e Floresta aberta, no sul da Amazônia.....	56

Capítulo III: Altura de árvores no ‘arco do desmatamento’ brasileiro: árvores mais curtas no sul e sudoeste da Amazônia implicam em menor biomassa.

Tabela 1. Parâmetros de regressões lineares para diferentes tipos de floresta na Amazônia.....	71
---	----

Tabela 2. Parâmetros da relação linear ajustada entre $\log_{10}(\text{diâmetro do fuste})$ com $\log_{10}(\text{altura total da árvore})$ para diferentes tipos de florestas Amazônicas, incluindo árvores de todos os tamanhos, diâmetro <20 cm e árvores com diâmetro do fuste ≥ 20 cm. Valores em negrito destacam as inclinações das regressões.....	76
Tabela 3. Densidade da madeira na altura do peito (peso seco a 80 °C/volume verde com casca) em quatro tipos de florestas Amazônicas ^a	78
Tabela 4. Efeito das correções para altura total e densidade da madeira sobre a estimativa de biomassa por hectare ^a	78

Capítulo IV: Estimativas de biomassa da floresta na Amazônia brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa a partir de inventários de volume de madeira.

Tabela 1. Medições da biomassa da floresta e componentes não-arbóreos a partir de estudos conduzidos na Amazônia Brasileira (peso seco em Mg/ha^{-1} e % em relação a biomassa das árvores por área ≥ 10 cm DAP).....	94
Tabela 2. Parâmetros de equações de biomassa [$\ln(\text{Peso seco}) = a + b \ln(\text{Diâmetro})$] em árvores amostradas em floresta aberta no sul da Amazônia (SA) (variação do diâmetro 5-124 cm). As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,30 m acima do solo) ou logo acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro estão em cm e massa são expressas em Kg.....	97
Tabela 3. Parâmetros de equações de volume do fuste [$\ln(\text{Volume corrigido}) = a + b \ln(\text{Diâmetro})$] na Amazônia central (CA) e no sul da Amazônia (SA). As medições de diâmetros foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são expressas em cm e o volume em m^3	102
Tabela 4. Afilamento médio do fuste (fator de forma) em floresta densa na Amazônia central (CA) e em floresta aberta no sul da Amazônia (SA). A tabela apresenta médias para as árvores amostradas e médias normalizadas pela distribuição diamétrica esperada por hectare. Um inventário de 72 ha (Castilho et al., 2006) foi utilizado na CA no ajuste de classes diamétricas. No SA 11 ha (Feldpausch et al., 2005) foram usadas para árvores com diâmetros ≥ 10 cm e 30 ha (Pereira et al., 2005) para árvores com 5-10 cm de diâmetro. As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema.....	105

Tabela 5. Biomassa total média (abaixo + acima do solo), a biomassa acima do solo por tipo de floresta (peso seco em Mg ha^{-1}) e o estoque total por estado ($\times 10^6$ Mg) na Amazônia Legal Brasileira no momento dos inventários do RadamBrasil, portanto antes que o desmatamento intensivo tenha ocorrido. Valores entre parênteses [valor] significam somente biomassa acima do solo. Todos os outros valores significam biomassa abaixo + acima do solo. Formações secundárias e vegetações não-florestais não foram consideradas.....109

Tabela 6. Estimativa de estoque da biomassa seca ($\times 10^6$ Mg) por estado e tipo de floresta na Amazônia Legal Brasileira, excluindo áreas desmatadas até 2006 (Brasil, INPE, 2007). Valores entre parênteses [valor] significam somente a biomassa acima do solo. Todos os outros valores significam biomassa abaixo + acima do solo. Formações secundárias e vegetação não-florestal não foram consideradas. O tipo de floresta está na coluna denominada “código IBGE” (veja Tabela 5 para correspondência).....110

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: Densidade de madeira em florestas do ‘Arco do desmatamento’: Implicações para biomassa e fluxo de carbono a partir de mudanças da terra na Amazônia brasileira.

- Figura 1.** Círculos sólidos demonstram sites de coleta, sendo de W para E: Sena Madureira, Cotriguaçu, Juruena e Novo Progresso. Os estados mencionados no texto são contornados, sendo de W para E: Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará. Os retângulos são os inventários do Projeto RadamBrasil, a partir W para E: SC.19 Rio Branco, SC.16 Porto Velho e SC.21 Juruena. O cinza escuro é a extensão do desmatamento até 2004, cinza claro é a floresta restante, o branco são áreas naturalmente não-florestadas ou *status* de vegetação não detectado devido a nuvens. Dados de desmatamento foram obtidos a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).....26
- Figura 2.** Densidade básica média ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) do fuste nos sites localizados no sul da Amazônia, floresta aberta (A) e densidade básica na altura do peito no sudoeste da Amazônia, estado do Acre (B): floresta aberta dominada por bambu e floresta densa livre de bambu. (A) As médias foram obtidas pela média aritmética entre a densidade na base (altura do peito ou final do toco para site em Juruena) e no final do fuste.....31
- Figura 3.** Diminuição na densidade básica da madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a partir da base para o final do fuste (Top). No site em Juruena ‘Base’ refere-se a amostras obtidas no final do toco. Nos sites em Cotriguaçu e Novo Progresso ‘Base’ refere-se a amostras obtidas na altura do peito (1.3 m).....32
- Figura 4.** Variação radial entre a densidade básica ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) de todo o disco com casca e densidade básica do cerne.....34
- Figura 5.** Relação entre a densidade média da madeira com o DAP (A) e a altura total (B)...35
- Figura 6.** Comparação por tipo de floresta entre os dados usados por Fearnside (1997), os novos dados obtidos no sul do Pará e norte de Mato Grosso e dados obtidos por França (2002) no Acre. Os valores para densidade de madeira na figura representam a média em nível de espécie ou em nível de gênero (A e B) em florestas ombrófilas de terras baixas e submontana, densa ou aberta aluvial. (C) Áreas de tensão ecológica e contato entre savana/floresta ombrófila, savana/floresta sazonal e floresta ombrófila/floresta sazonal....36

Capítulo II: Regressões lineares para normalização de densidade de madeira em estimativas de biomassa de florestas na Amazônia.

Figura 1. Relação entre a densidade básica do disco inteiro e a densidade básica do cerne em floresta densa na Amazônia central (n = 146 árvores) e em florestas abertas no sul da Amazônia (n = 76 árvores).....	53
Figura 2. Diferença entre densidade básica do cerne e do disco inteiro (%RV) em floresta densa e aberta.....	54
Figura 3. Relacionamento entre diâmetro (na altura do peito ou acima de sapopemas) e altura total de árvores com %RV (significando a diferença entre densidade básica do cerne e aquela do disco inteiro) em floresta aberta no sul da Amazônia (A e B) e em floresta densa na Amazônia central (C e D). Valores positivos de %RV significam que a densidade diminui em direção para fora e valores negativos de %RV significam aumento na densidade média em direção para fora. Para a significância da correlação de Pearson e valores de probabilidade, veja Tabela 4.....	55
Figura 4. Relação entre a densidade básica média do fuste e a densidade na altura do peito (disco inteiro) em floresta densa na Amazônia central (n = 307) e em floresta aberta no sul da Amazônia (n = 235).....	56
Figura 5. Relação entre o conteúdo de umidade (%) com a densidade básica média da madeira do fuste (A) e, ‘densidade verde’ média do fuste (B). A variação no conteúdo de umidade (%) ao longo do comprimento do fuste é também apresentada (C).....	58

Capítulo III: Altura de árvores no ‘arco do desmatamento’ brasileiro: árvores mais curtas no sul e sudoeste da Amazônia implicam em menor biomassa.

Figura 1. Regressões pareadas entre $\ln(\text{diâmetro})$ versus altura total da árvore, comparadas entre floresta densa na Amazônia central (símbolo \times , preto), com duas florestas no SW da Amazônia e uma floresta no sul da Amazônia (círculo sólido, cinza). A: Floresta aberta no SW dominada por bambu, B: Floresta densa no SW da Amazônia, C: Floresta aberta no sul da Amazônia. D: $\ln(\text{diâmetro})$ versus altura total (m) para todos os quatro tipos de floresta.....	74
Figura 2. Fator de correção de biomassa (C_m) para o efeito de menor altura do caule nas três florestas teste comparadas com a floresta densa na Amazônia central. A linha superior representa os valores para floresta aberta no sul da Amazônia, a linha intermediária para floresta densa no SW da Amazônia e a linha mais baixa para floresta aberta dominada por bambu. D = diâmetro em centímetros.....	75

Figura 3. Biomassa por área para árvores + palmeiras ≥ 5 cm DAP (ou acima de sapopemas) no SW da Amazônia ajustada para baixo em 39% (floresta aberta, no SW da Amazônia, dominada por bambu), 22% (floresta densa no SW da Amazônia), e por 16% (floresta aberta no sul da Amazônia) após correções para menor densidade da madeira e menor altura das árvores quando comparado estes atributos com a floresta densa na Amazônia central.....79

Capítulo IV: Estimativas de biomassa da floresta na Amazônia brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa a partir de inventários de volume de madeira.

Figura 1. Relação entre diâmetro e o peso seco (em Kg) de toda a árvore (**A**), fuste (**B**) e copa (**C**). As medições de diâmetro (em cm) foram feitas na altura do peito (1,30 m acima do solo) ou logo acima de qualquer sapopema. Cada árvore foi pesada diretamente. O peso seco foi obtido a partir de medidas individuais do conteúdo de umidade a partir de amostras feitas na base e no final do fuste de em cada árvore. O peso seco da copa foi determinado considerando um conteúdo de umidade de 47,6% (veja seção 2.3). Veja Tabela 2 para detalhes acerca das equações.....96

Figura 2. Divergência (%) da biomassa estimada para as duas equações lineares [$DW = \exp(-1,754 + 2,665 \times \ln(D)) \times 0,57$; $DW = \exp(-0,151 + 2,17 \times \ln(D)) \times 0,57$] por Higuchi et al. (1998), para a equação cúbica de Chambers et al. (2001) [$DW = \exp(-0,37 + 0,333 \times \ln(D) + 0,933 \times \ln(D)^2 - 0,122 \times \ln(D)^3)$], e a recente equação em potência [$\exp = (2,2737 \times D^{1,9156}) \times 0,57$] desenvolvida por Silva (2007), comparadas à equação linear desenvolvida neste estudo. As equações de Higuchi e Silva relacionam diâmetro à massa fresca. Neste estudo foram usados 43% de conteúdo de umidade para obter a massa seca, baseado em um recente conjunto de dados por Silva (2007).....99

Figura 3. Equações para biomassa da copa desenvolvida em floresta densa, Amazônia central (CA) por Chambers et al. (2001) plotado contra a massa das copas diretamente pesadas em floresta aberta, no sul da Amazônia (SA). Medições de diâmetro são em cm; a massa da copa é expressa em Kg (peso seco).....101

Figura 4. Relação entre $\ln(\text{Diâmetro})$ e $\ln(\text{Volume corrigido})$ considerando árvores com DAP 5-39,9 cm (**A**) e DAP 40-106 cm (**B**), ambas em floresta densa, e árvores com DAP 5-82 cm (**C**) em floresta aberta. As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na Amazônia central ou 1,30 m no sul da Amazônia) ou acima de qualquer

- sapopema. Medições de diâmetro são em cm e medições do volume do fuste em m^3 . Veja Tabela 3 para detalhes das equações.....103
- Figura 5.** Afilamento do fuste (fator de forma) pelo tamanho da árvore em dois tipos de floresta: **(A)** Floresta densa, Amazônia central (CA) (n = 299) e **(B)** Floresta aberta, sul da Amazônia (SA) (n = 300). As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema. Casos dispersos em **(A)** são árvores com acentuadas irregularidades na forma do fuste (veja seção 4.3).....104
- Figura 6.** Mapa de biomassa abaixo e acima do solo (peso seco) para a Amazônia Legal Brasileira baseado em 2860 parcelas inventariadas pelo Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983). Estas estimativas não incluem savana, *campinarana*, formações secundárias ou pioneiras. A escala de cores do mapa de biomassa está de acordo à classificação *Jenks natural breaks*.....111

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	18
OBJETIVO GERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
Capítulo I: Densidade de madeira em floretas do ‘arco do desmatamento’ brasileiro: Implicações para biomassa e fluxo de carbon a partir de mudanças de uso da terra na Amazônia.....	23
Resumo.....	23
Introdução.....	24
Materiais e Métodos.....	25
Resultados.....	30
Discussão.....	40
Conclusão.....	45
Capítulo II: Regressões lineares para normalização da densidade de madeira em estimativas de biomassa das florestas Amazônicas.....	46
Resumo.....	46
Introdução.....	47
Materiais e Métodos.....	50
Resultados.....	52
Discussão.....	58
Conclusão.....	63
Capítulo III: Altura de árvores no ‘arco do desmatamento’ brasileiro: Árvores mais curtas no sul e sudoeste da Amazônia implicam em menor biomassa.....	65
Resumo.....	65
Introdução.....	66
Materiais e Métodos.....	68
Resultados.....	72
Discussão.....	79
Conclusão.....	82

Capítulo IV: Estimativas de biomassa da floresta na Amazônia brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa a partir de inventários de volume de madeira.....	83
Resumo.....	83
Introdução.....	84
Materiais e Métodos.....	86
Resultados.....	96
Discussão.....	112
Conclusão.....	118
CONCLUSÃO GERAL.....	119
REFERÊNCIAS.....	122
ANEXO A.....	141
ANEXO B.....	144
ANEXO C.....	147

INTRODUÇÃO GERAL

Mudanças na abundância de gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera, na radiação solar e nas propriedades da superfície terrestre alteram o balanço de energia do sistema climático. Como resultado de atividades humanas, as concentrações na atmosfera global de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso têm aumentado marcadamente desde 1750, e tem atingido o maior nível em relação aos valores pré-industriais determinados a partir de colunas de gelo que registram milhares de anos (IPCC, 2007). A temperatura da superfície global tem aumentado $\sim 0,2^{\circ}\text{C}$ por década nos últimos 30 anos, similar à taxa de aquecimento predita na década de 80 no início das simulações por modelos climáticos globais que incluíam mudanças transitórias de gases de efeito estufa (Hansen et al., 2006). A conclusão que o aquecimento global é uma alteração climática real é confirmada pela mudança da temperatura, como inferida por perfis de temperatura a partir de perfurações em locais remotos, a taxa de retração dos glaciais pelo mundo, e o recente e progressivo derretimento de gelos sobre rios e lagos (IPCC, 2001).

A fonte primária do aumento atmosférico da concentração de dióxido de carbono desde o período pré-industrial é o uso de combustíveis fósseis, com mudanças de uso da terra sendo caracterizada como outra fonte significativa, mas com menor contribuição (IPCC, 2007). Globalmente e em longo prazo o fluxo de carbono por mudanças no uso da terra (1850–2000) liberou 156 PgC (1 Pg = 10^{15} g) para a atmosfera, cerca de 60% oriundos dos trópicos. A média de fluxos anual durante a década de 1980 e 1990 foram 2,0 e 2,2 PgC ano⁻¹, respectivamente, predominando a liberação de carbono por desmatamento tropical (Houghton, 2003a). Por causa disto, a biomassa das florestas tropicais desempenha um importante papel no ciclo global do carbono, tanto como um reservatório dinâmico de carbono como uma fonte de dióxido de carbono para a atmosfera em áreas submetidas a desmatamento (Malhi et al., 2006; Fearnside, 2000a). Claramente o estado futuro das florestas na Amazônia é de importância para a composição de carbono da atmosfera (Brown and Lugo, 1992).

Incertezas na biomassa florestal são responsáveis pelas principais incertezas nas atuais estimativas de fluxo de carbono oriundas de mudanças no uso da terra (Houghton et al., 2001). Acuradas estimativas de biomassa na floresta Amazônica é um passo essencial para o entendimento da contribuição do desmatamento para o aumento do dióxido de carbono na atmosfera (Brown, 1995).

O objetivo desta tese é reduzir as incertezas existentes nas estimativas de biomassa acima do solo e emissão de carbono na Amazônia brasileira, particularmente no ‘arco do desmatamento’ onde muito do fluxo de carbono por mudança de uso da terra tem ocorrido.

Atenção foi focalizada no aperfeiçoamento de estimativas de densidade de madeira, que é uma importante variável para conversão do volume do fuste à biomassa do fuste, e na conversão de volume do fuste para biomassa de toda a árvore. Novas relações alométricas foram desenvolvidas com esta finalidade.

Esta tese está dividida em quatro capítulos. O Capítulo I apresenta novas estimativas de densidade de madeira para o sul e sudoeste da Amazônia brasileira (SSWA), que encerram muito do ‘arco do desmatamento’, a partir de espécies coletadas localmente ponderadas pelo respectivo volume inventariado em larga-escala. A questão examinada é se a densidade de madeira comumente utilizada nas estimativas de emissão de carbono é adequada para o SSWA. O Capítulo II focaliza em regressões lineares para densidade de madeira no ‘arco do desmatamento’ ao longo da borda sul da região e faz ajustes para equações existentes que são baseadas em estudos na Amazônia central (CA). Nesse capítulo é também demonstrado que em florestas abertas no sul da Amazônia (SA) o conteúdo de umidade do fuste é significativamente maior que na floresta densa na CA. O Capítulo III avalia se as árvores no sudoeste e sul da Amazônia são mais curtas a um dado diâmetro que aquelas na CA. Isto é importante porque valores de biomassa florestal usados para estimativas oficiais de emissão de carbono a partir do desmatamento na Amazônia brasileira têm sido baseados em relações alométricas derivadas na CA. O Capítulo IV encerra esta tese com equações de biomassa desenvolvidas a partir de árvores diretamente pesadas no SA e equações alométricas para estimativa de volume do fuste tanto para árvores em florestas densas na CA como para florestas abertas no SA. Estimativas de biomassa foram obtidas a partir destas equações que também foram utilizadas para aperfeiçoar o modelo de biomassa comumente usado na Amazônia, baseado em inventários de volume de madeira em larga-escala conduzidos em toda a bacia. Finalmente, um mapa de biomassa para a Amazônia brasileira foi produzido incorporando todas as correções para incertezas associadas à densidade de madeira, às estimativas de volume e aos fatores utilizados para adicionar o volume dos fustes de pequenas árvores bem como para adicionar a biomassa das copas.

OBJETIVO GERAL

Esta tese tem como objetivo melhorar as estimativas de biomassa florestal e emissão de carbono por mudança de uso da terra na Amazônia brasileira, particularmente no ‘arco do desmatamento’, onde historicamente tem predominado as emissões de carbono por desmatamento e queimadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.) Estimar a densidade básica média da madeira das árvores nas regiões sul e sudoeste da Amazônia brasileira, ponderando pela composição florística destas áreas a partir de inventários em larga-escala (Projeto RadamBrasil), e avaliar o impacto sobre as estimativas de biomassa e emissão de carbono.
- 2.) Comparar entre as florestas abertas no sul da Amazônia e as florestas densas na Amazônia central a variação da densidade básica de madeira na altura e no sentido radial do fuste, bem como o conteúdo de umidade.
- 3.) Desenvolver modelos lineares que permitam correção de dados disponíveis sobre densidade de madeira na Amazônia para valores de densidade que considera todos os componentes do fuste das árvores, tornando-os assim adequados para cálculos de biomassa.
- 4.) Avaliar se as árvores nas regiões sul e sudoeste da Amazônia brasileira são mais curtas para um dado diâmetro que as árvores na Amazônia central e avaliar as implicações de tais diferenças para estimativas de biomassa obtidas a partir de equações desenvolvidas na Amazônia central corrigidas para o efeito de diferença de altura e/ou densidade de madeira.
- 5.) Desenvolver uma equação alométrica para estimar a biomassa de árvores no sul da Amazônia, usando somente o diâmetro na altura do peito como variável independente.
- 6.) Estimar, para florestas na Amazônia central e sul, o percentual de biomassa estocado nas árvores menores que 100 cm de circunferência ($DAP < 31,8$ cm) em relação à biomassa de todas as árvores maiores que 100 cm, e avaliar os atuais valores utilizados nos modelos de

biomassa para acrescentar a biomassa das árvores não-inventariadas pelo Projeto RadamBrasil (1973-1983).

7.) Determinar o percentual de biomassa existente nas copas em relação a biomassa dos fustes para árvores na Amazônia central e no sul da Amazônia, e comparar com os valores comumente usados em modelos de biomassa para adicionar a biomassa das copas.

8.) Avaliar a influência de reentrâncias e ocos sobre as estimativas de volume total de madeira por hectare obtidas pelo Projeto RadamBrasil (1973-1983).

9.) Desenvolver equações alométricas que permitam estimar o volume do fuste corrigido para efeito de reentrâncias e oco, usando somente diâmetro como variável independente.

10.) Determinar o fator de forma para árvores em floresta aberta, para diferentes classes de diâmetro.

11.) Obter novas estimativas de biomassa total estocada na Amazônia usando os inventários do Projeto RadamBrasil, após aplicar correções para estimativas de volume de madeira, densidade de madeira, e variáveis usadas para converter a biomassa do fuste para biomassa da árvore e por hectare, bem como utilizando novas estimativas de biomassa para componentes não-arbóreos tanto vivos quanto mortos.

12.) Obter um mapa de biomassa para a Amazônia brasileira e novas estimativas para emissão de carbono por mudança de uso da terra.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado a partir de informações obtidas em 13 sites na Amazônia brasileira, distribuídos nos estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso e Pará. Destes, 6 sites foram localizados próximos a Manaus na Amazônia central (Nogueira et al., 2005) e outros 7 sites foram distribuídos no ‘arco do desmatamento’, porção sul (SA) e sudoeste da Amazônia brasileira (SW): 2 sites no estado do Acre (SW floresta aberta dominada por bambu e SW floresta densa sem bambu), 4 sites no noroeste do estado do Mato Grosso e 1 site na porção sul do estado do Pará (todos analisados juntos e classificados como ‘floresta aberta no sul da Amazônia, SA’).

A coleta de dados em todos os sites foi autorizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). No estado do Mato Grosso as coletas também foram autorizadas pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA).

Em cada tipo de floresta, árvores acima de 5 cm DAP foram cortadas radomicamente, e feitas medições do diâmetro (DAP ou acima de sapopemas), da altura do fuste, altura total, e densidade de madeira: 310 árvores em floresta densa na Amazônia central, 92 árvores em floresta aberta dominada por bambu no SW, 97 árvores em floresta densa sem bambu no SW e 320 árvores em floresta aberta no sul da Amazônia (SA). Neste último tipo de floresta, 322 árvores (5 a 124 cm DAP ou acima de sapopema) foram cortadas e pesadas completamente. Amostras botânicas de cada árvore foram coletadas e identificadas por experientes parobotânicos do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Detalhes de cada site de coleta, como solos, clima e também sobre métodos específicos são descritos em cada capítulo.

Capítulo I - Densidade de madeira em florestas do ‘Arco do desmatamento’: Implicações para biomassa e fluxo de carbono a partir de mudança de uso da terra na Amazônia brasileira¹

Resumo

A densidade da madeira é uma importante variável nas estimativas de biomassa da floresta e emissões de gases de efeito-estufa por mudança de uso da terra. A densidade média da madeira média usada nas estimativas de biomassa da floresta Amazônica brasileira tem sido baseada em amostras obtidas fora do ‘arco do desmatamento’, região onde a maior parte do fluxo do carbono por mudanças de uso da terra tem sido emitida. Este estudo apresenta nova estimativa de densidade de madeira para as porções sul e sudoeste do ‘arco do desmatamento’ na Amazônia brasileira (SSWA), usando espécies coletadas localmente ponderadas por seu volume a partir de inventários locais em larga-escala. A densidade média da madeira foi calculada para todo o fuste, incluindo a casca, a variação radial e longitudinal. Um total de 403 árvores foi amostrado em seis sites. No sul da Amazônia brasileira (SBA), 225 árvores (119 espécies ou morfo-espécies) foram amostradas em quatro sites. No leste do estado do Acre 178 árvores (128 espécies ou morfo-espécies) foram amostradas na altura do peito em dois tipos de floresta. A densidade básica média nos sites do SBA foi $0,593 \pm 0,113$ (média \pm 1 desvio padrão; $n = 225$; extremos 0,265 - 0,825). Para as árvores amostradas no Acre a densidade média da madeira na altura do peito foi $0,540 \pm 0,149$ ($n = 87$) na floresta aberta dominada por bambu e $0,619 \pm 0,149$ ($n = 91$) na floresta densa livre de bambu. A densidade de madeira média nos sites no SBA foi significativamente maior que nas florestas dominadas por bambu, exceto para a floresta densa nos sites do Acre. A partir de inventários comerciais de madeira do Projeto RadamBrasil na porção SSWA do ‘arco do desmatamento’, o volume de madeira e a densidade da madeira de cada espécie ou gênero foram usadas para estimar a densidade média de madeira ponderada pelo volume total de madeira inventariada em cada unidade de vegetação. Estas unidades foram definidas pela intersecção entre o tipo de floresta mapeado e estado. A área de cada unidade foi então usada para computar a densidade média da madeira de $0,583 \text{ g cm}^{-3}$ para todos os volumes de madeira no SSWA. Este valor é 13,6% menor que o valor utilizado para esta região em estimativas prévias de densidade média de madeira. Quando combinado com a nova estimativa para o SSWA isto resulta em uma densidade de madeira média de $0,642 \text{ g cm}^{-3}$ para todos os volumes de madeira na Amazônia brasileira como um todo, o qual é 7% menor que a estimativa prévia de $0,69 \text{ g cm}^{-3}$. Estes resultados sugerem que as estimativas atuais de emissões de carbono por mudança de uso da terra na Amazônia brasileira estão superestimadas. O impacto sobre as estimativas de biomassa e emissões de carbono é substancial porque o ajuste para baixo é maior em tipos de floresta alvo de maior desmatamento. Para 1990, com $13,8 \times 10^3 \text{ km}^2$ de desmatamento, as emissões para a Amazônia brasileira seriam reduzidas por $23,4\text{-}24,4 \times 10^6 \text{ Mg CO}_2$ -equivalente C/ano (para cenários de gás-traço alto e baixo), ou 9,4-9,5% da emissão grossa e 10,7% da emissão líquida comprometida, ambas excluindo o solo.

Palavras-chave: Floresta Amazônica; Fluxo de carbono, Biomassa da floresta, Aquecimento Global; Densidade de madeira.

¹ Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., França, M.B., 2007. Wood density in forests of Brazil’s ‘arc of deforestation’: Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management* 248, 119-135.

Introdução

Os maiores erros no balanço de carbono da região tropical são oriundos de incertezas na estimativa de biomassa acima do solo das florestas (Houghton, 2003a, 2005; Houghton et al., 2001). A densidade da madeira é uma importante variável para aperfeiçoar as estimativas de estoque de carbono e emissões de gases de efeito-estufa por desmatamento ou quando a floresta é convertida para outros usos (Baker et al., 2004; Chave et al., 2005; Fearnside, 1997; Malhi et al., 2006; Nogueira et al., 2005). Isto é porque a densidade é necessária para converter inventários de volume de madeira para biomassa (Brown et al., 1989; Brown, 1997; Fearnside, 2000a,b; Houghton et al., 2001). Além disso, melhorias nas estimativas de densidade da madeira aumentariam o entendimento sobre as mudanças de estoque de carbono antes e após mudanças de uso da terra.

Emissões de carbono por desmatamento da Amazônia devem ser determinadas pela biomassa daquelas florestas que estão sendo desmatadas, não exatamente pela biomassa média da região. A porção da Amazônia brasileira responsável por muito das emissões está inserida no ‘arco do desmatamento’, que inclui o sudoeste, sul e bordas leste da bacia (Brasil, INPE, 2002). Embora numerosos inventários florestais de volume de madeira de grandes árvores têm sido produzidos para o sul e sudoeste da Amazônia brasileira (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1980; veja Figura 1), são escassos dados para densidade de madeira diretamente mensurados no ‘arco do desmatamento’. Conseqüentemente, recentes estudos de estoque e emissão de carbono para a Amazônia (Achard et al., 2004; Brown, 1997; Fearnside, 2000a,b; Fearnside and Laurance, 2003, 2004; Houghton et al., 2001) têm sido baseados em listas de densidade publicadas que foram obtidas em partes da região amazônica fora do ‘arco do desmatamento’ (Brown et al., 1989; Fearnside, 1997).

O uso de dados de densidade de madeira obtidos fora do ‘arco do desmatamento’ pode resultar em superestimativa porque os solos são mais férteis ao longo das bordas sul e sudoeste da bacia (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1976, 1978, 1983; Brown and Prance, 1987, Fig. 2.1; Sombroek, 2000). A densidade da madeira tem sido demonstrada variar inversamente com a fertilidade do solo (Baker et al., 2004; Muller-Landau, 2004; Parolin and Ferreira, 1998; ter Steege et al., 2006). Outros fatores, como frequência de distúrbios naturais, disponibilidade de luz no sub-bosque, umidade e zona climática de vida podem afetar as estratégias de crescimento e, por conseguinte, a densidade da madeira (Chudnoff, 1976; Wiemann and Williamson, 2002; Woodcock and Shier, 2003). No sul e sudoeste da Amazônia brasileira (SSWA), florestas abertas naturalmente perturbadas pela abundância de

bambu semi-escandentes ou lianas tendem a ter mais árvores de rápido crescimento com madeira mais leve (Nelson et al., 2006). Estas florestas ocuparam 400.000 km² do SSWA antes de seu parcial desmatamento (Brazil, IBGE, 1997; Nelson, 1994). Floresta do tipo aberta também tem menos caules por hectare, mais abertura no dossel e conseqüentemente maior penetração de luz quando comparado com floresta densa (Veloso et al., 1991). Estas florestas também têm menos precipitação anual e um período seco mais longo que a porção central e oeste da Amazônia (Brazil, ANA/SIH, 2006).

Outro problema com as estimativas existentes de densidade de madeira é que muitos dos dados de densidade disponíveis para a Amazônia não foram intencionalmente obtidos para uso em estimativas de biomassa. Os métodos diferem quanto à posição radial e longitudinal de amostragem no fuste e quanto ao modo que a massa e o volume das amostras de madeira foram determinados. Muitos métodos conduzem a uma superestimativa de densidade média da madeira de toda a árvore (Fearnside, 1997; Nogueira et al., 2005). Muitos dos bancos de dados de densidade de madeira usados por Fearnside (1997) para estimativa de biomassa faltam adequada correção para a variação radial. Este erro foi calculado ser equivalente a -5.3% para floresta densa na Amazônia central (Nogueira et al., 2005). Além disso, alguns bancos de dados de densidade de madeira também não incorporam a diminuição da densidade com a altura ao longo do fuste.

A questão examinada neste capítulo é se a média de densidade de madeira comumente usada nas estimativas de emissões de carbono é adequada para o SSWA. Neste capítulo são usados dois novos bancos de dados de densidade de madeira por táxon.

Material e Métodos

Sites de Coleta

A localização de todos os sites é demonstrada na Figura 1. As árvores foram cortadas sempre em floresta primária, ou em florestas sem sinal visível de perturbação. Deve ser notado que, embora florestas conhecidas como ‘florestas primárias’ são preferidas para serem estudadas, todas as florestas na Amazônia podem ter sido afetadas por perturbações passadas por povos indígenas e eventos climáticos extremos (Clark, 2007). Locais com qualquer evidência de exploração madeireira no passado foram evitadas. O banco de dados representando o sudoeste da Amazônia é composto de 178 árvores oriundas de floresta aberta dominada por bambu e floresta densa, ambas no leste do estado do Acre (França, 2002). O banco de dados do sul da Amazônia foi obtido a partir de quatro sites, sendo três no noroeste do estado do Mato Grosso e um no sul do estado do Pará, totalizando 225 árvores. Estes

quatro sites foram localizados em floresta ombrófila aberta dominada por lianas ou por grandes palmeiras. Todos os sites estão a uma altitude de 200 a 300 m acima do nível do mar. Florestas densas e sazonais ocorrem em proximidade aos sites do sul da Amazônia, enquanto savanas ocorrem em áreas mais elevadas (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1980). As listas de espécies para ambas as regiões são fornecidas nos Anexos A e B.

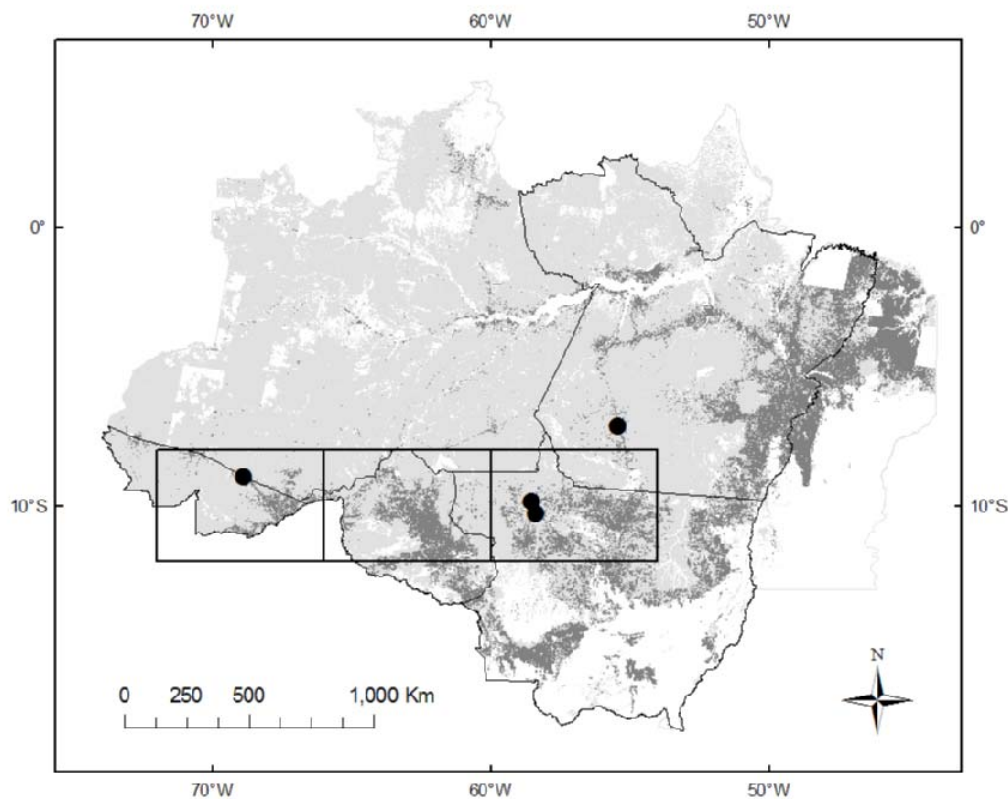


Figura 1. Círculos sólidos demonstram sites de coleta, sendo de W para E: Sena Madureira, Cotriguaçu, Juruena e Novo Progresso. Os estados mencionados no texto são contornados, sendo de W para E: Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará. Os retângulos são os inventários do Projeto RadamBrasil, a partir W para E: SC.19 Rio Branco, SC.16 Porto Velho e SC.21 Juruena. O cinza escuro é a extensão do desmatamento até 2004, cinza claro é a floresta restante, o branco são áreas naturalmente não-florestadas ou *status* de vegetação não detectado devido a nuvens. Dados de desmatamento foram obtidos a partir do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O site no Acre está localizado a 25 km a oeste da cidade de Sena Madureira. Aproximadamente igual número de árvores foi amostrado em floresta densa (91 árvores) e em floresta aberta dominada por bambu (87 árvores). Dois dos sites no sul da Amazônia foram localizados no município de Juruena, no noroeste de Mato Grosso (44 árvores amostradas).

Um terceiro site foi localizado no município de Cotriguaçu (116 árvores) também no noroeste do Mato Grosso. O quarto site está situado no município de Novo Progresso no sul do Pará (65 árvores), próximo a rodovia BR-163.

Segundo a classificação da FAO, o solo sob os tipos de floresta no Acre é *vertisol* relativamente fértil, ou *vertic latosol* com altas concentrações de cátions (Vidalenc, 2000). Os sites no estado do Mato Grosso estão sobre *xanthic* ou *orthic ferralsols* e *ferralic arenosols*. No site localizado no sul do Pará predomina *orthic acrisols* e *ferralsols* sobre planalto do escudo granítico (FAO, 1988; Sombroek, 2000).

O clima no leste do estado do Acre é tropical úmido com precipitação anual média de 2250 mm e quatro meses com menos de 100 mm por mês. Nos sites do Mato Grosso o clima predominante é também tropical úmido com 2075 mm de precipitação média anual e seis meses com precipitação mensal abaixo de 100 mm (Brasil, ANA/SIH, 2006). No site localizado no sul do Pará a média de precipitação anual é de 2280 mm com três meses de precipitação abaixo de 100 mm por mês (Brasil, ANA/SIH, 2006). Em todos os sites, os extremos na temperatura anual oscila entre 19,5 to 31,5 °C (Brasil, INMET, 2006).

Amostragem de madeira e determinação da densidade

Amostras foram feitas de árvores cortadas randomicamente dentro de cada classe de tamanho, a partir de 5 cm DAP (diâmetro na altura do peito). No entanto, quotas foram estabelecidas para cada classe de tamanho baseadas na proporção que cada classe contribui para a área basal de um inventário florestal local. Medições foram feitas do DAP (1,30 m acima do solo ou acima de sapopema, quando presente), altura total e altura do fuste comercial. Amostras botânicas foram coletadas para todas as árvores e identificadas por experientes para-botânicos no herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Um disco de madeira de espessura constante (~3 cm) foi retirado na altura do peito ou a partir do final do toco (no site em Juruena, devido solicitação da companhia madeireira), mesmo na presença de sapopema. Nos dois sites no estado do Acre, discos foram feitos somente na altura do peito (França, 2002). Nos quatro sites no sul da Amazônia um segundo disco foi retirado na altura final do fuste comercial, logo abaixo do alargamento associado com a base do primeiro galho grosso. Em todos os casos, uma possível variação radial na densidade foi compensada pela obtenção de um disco completo de mesma espessura, incluindo a casca. A densidade básica da madeira foi determinada para o disco inteiro ou para um pedaço (semelhante a uma fatia de pizza) obtido a partir do disco. Se o disco tinha anéis

de crescimento excêntricos, a fatia foi obtida a partir da região mediana entre as áreas com os anéis mais estreitos e mais largos. Se a árvore tinha sapopemas ou caneluras na altura do peito, a fatia incluía parte de uma sapopema e parte da canelura. A fatia foi posicionada para permitir uma representação proporcional aproximada da área da secção do disco como um todo, incluindo as áreas de sapopema e caneluras eventualmente existentes no disco. A mesma metodologia foi aplicada em estudos na Amazônia central (Nogueira et al., 2005), e é considerada um protocolo apropriado para futuros estudos de densidade. Nos sites do sul da Amazônia, amostras do cerne foram também retiradas quando presente. As amostras do cerne foram feitas junto ao centro dos discos.

Neste estudo, a densidade de madeira é definida como ‘densidade básica’ ou ‘gravidade básica específica’. Foi obtida pela razão entre a massa seca e o volume da madeira verde (Fearnside, 1997; Nogueira et al., 2005). Para evitar encolhimento do volume, os discos frescos e fatias foram conservados na sombra, e a massa e o volume da madeira verde foram determinados no mesmo dia de coleta das amostras. A massa da madeira verde foi obtida usando uma balança operada por bateria com 1% de precisão e 2000 g de capacidade. O volume da madeira verde foi determinado pelo deslocamento de água em um recipiente colocado sobre a balança. Um estilete foi fixado em cada amostra que foi forçada a submergir. O incremento no peso do recipiente (em gramas) corresponde ao volume da amostra submersa em cm^3 (ASTM, 2002). O volume foi determinado após uma primeira submersão para preencher os poros expostos. Para obter o peso seco de cada amostra uma estufa elétrica foi usada a 103 °C (ASTM, 2002). As amostras foram consideradas completamente secas quando o peso foi estabilizado por três dias consecutivos. Para todas as árvores a densidade básica média do fuste foi determinada como a média aritmética da densidade na altura do peito (ou no final do toco para o site em Juruena) e na altura final do fuste. A densidade média ajustada para o afilamento do fuste não foi usada porque não difere significativamente da média aritmética (Nogueira et al., 2005).

Densidade média da madeira por tipo de floresta no SSWA

Duas tabelas regionais de densidade média da madeira por táxon (espécies ou gênero) foram desenvolvidas, uma para o sudoeste e outra para o sul da Amazônia brasileira. Os nomes foram conferidos usando Ribeiro et al. (1999) e/ou a partir do Missouri Botanical Garden Tropicos database (<http://mobot.mobot.org/W3TSearch/vast.html>). Todos os valores são médias do fuste, incluindo casca, alborno e cerne. Como não foram coletados discos no final dos fustes nas florestas no Acre, para aquele banco de dados uma correção de -4,2% foi

aplicada para ajustar a diminuição na densidade ao longo da altura do fuste. Esta foi a variação encontrada nos sites no Mato Grosso e no Pará e é similar ao valor de -4,3% reportado em Nogueira et al. (2005) para floresta densa na Amazônia central.

Os valores de densidade de madeira a partir de 119 espécies de árvores derrubadas no Mato Grosso e Pará foram aplicadas para o conjunto de inventários do RadamBrasil reportados nas folhas 'SC.21 Juruena' e 'SC.20 Porto Velho' (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1976, 1978, 1980). As 128 espécies ou morfo-espécies derrubadas no Acre foram usadas para o conjunto de inventários reportados na folha 'SC.19 Rio Branco'. Quando a correspondência não foi possível ao nível de espécie, foi usada a densidade ao nível de gênero. A área geográfica destes três conjuntos de inventários é demonstrada na Figura 1. Cada publicação do Projeto RadamBrasil fornece o volume de madeira por táxon (gênero ou espécie) dentro de cada tipo de floresta em uma área de 4×6 graus. O volume de cada espécie ou gênero correspondido foi usado para estimar a densidade de madeira média de todo o volume de madeira nas unidades de vegetação que foram definidas pela intersecção do tipo de floresta e estado. Estas 'unidades de vegetação' são similares às ecoregiões definidas por Fearnside and Ferraz (1995) usando um mapa de vegetação menos detalhado, e são úteis para estudos em associação com o programa brasileiro de monitoramento do desmatamento, o qual estima a emissão de carbono por estado. Cerca de 36% do volume de madeira reportado pelo RadamBrasil pode ser correspondido aos gêneros ou espécies coletados neste estudo para as folhas dos mapas do RadamBrasil nas quais as parcelas estão localizadas. Se somente as unidades de vegetação de nossas parcelas de amostragem são consideradas (i.e., floresta ombrófila submontana densa e aberta no Mato Grosso), a percentagem de volume correspondido a gênero e espécie aumenta para 42% (Tabela 2). A densidade de madeira média em cada unidade de vegetação foi baseada sobre os volumes locais daqueles táxons correspondidos. Esta mesma média foi aplicada para os taxa não-correspondidos. A densidade de madeira média para toda a porção SSWA do 'arco do desmatamento' foi então calculada fazendo uma média dos valores a partir de todas as unidades de vegetação, ponderando pela área geográfica relativa de cada unidade de vegetação.

Ajuste para densidade de madeira, estimativa de biomassa e emissão de carbono para toda a Amazônia brasileira

Uma nova média de densidade de madeira foi calculada considerando os volumes de madeira para toda a Amazônia a partir de todo o conjunto de inventários do RadamBrasil. Para os três inventários na área SSWA, o procedimento foi como descrito acima. O mesmo

procedimento foi usado no restante da Amazônia brasileira, mas baseado sobre outros valores de densidade previamente reportados Fearnside (1997). Estes outros valores de densidade, utilizados para as áreas externas à região SSWA, foram reduzidos por 5,3% porque, na maioria desses outros bancos de dados, as amostras foram feitas a partir ou próximo do cerne (como nas amostras do Brasil, IBDF, 1981; 1983; 1988). Não foi aplicada a correção para a variação ao longo do fuste porque a maioria das amostras (i.e., banco de dados do IBDF) foi obtida randomicamente ao longo do fuste com probabilidade de amostragem em cada ponto do fuste ajustada para o efeito de afilamento sobre o volume de madeira.

Outras correções não foram aplicadas, como aquelas necessárias para amostras em que o volume da madeira verde foi estimado após saturação em água. Isto pode resultar em densidade superestimada quando amostras são re-hidratadas após secagem e subestimativa quando hidratada para saturação sem secagem prévia. Os dados de densidades de Fearnside (1997) foram originalmente obtidos a partir de Amorim (1991), Brasil, IBDF (1981, 1983, 1988), Brasil, INPA (1991), Brasil, INPA/CPPF (não-publicado [1981]), Chudnoff (1980), Nascimento (1993) e Reid, Collins and Associates (1977). Outros bancos de dados mais recentes disponíveis para a Amazonia não foram usados porque a densidade média atualmente usada nas estimativas de biomassa e emissão de carbono foi baseada nos dados de Fearnside (1997).

A nova densidade de madeira média e a densidade média antiga ajustada foram obtidas a partir de todos os volumes de madeira para cada um dos tipos de florestas mapeados por cada inventário do RadamBrasil ao longo de toda a Amazônia brasileira. Quando ponderada pela área e taxa de desmatamento de cada unidade de vegetação, foram produzidas estimativas corrigidas de biomassa viva acima do solo e proporcional correções das estimativas de emissão de carbono na região.

Resultados

Densidade básica média do fuste, variação radial e vertical, e relação da densidade do fuste com DAP e altura total

A densidade básica média do fuste não difere significativamente entre os sites no sul da Amazônia (Figura 2A; Tabela 1). A densidade média do fuste no site em Juruena foi $0,591 \pm 0,118$ (média ± 1 d.p.; $n = 44$). No site em Cotriguaçu foi $0,584 \pm 0,106$ ($n = 116$) e no site em Novo Progresso foi $0,610 \pm 0,121$ ($n = 65$) (Tabela 1). Para todos os dados do sul da Amazônia, a densidade básica média do fuste foi $0,593 \pm 0,113$ para os 225 fustes amostrados. Estes representam 119 espécies ou morfo-espécies e 19 táxons identificados

somente ao nível de gênero. Estas espécies e gêneros pertencem a 41 diferentes famílias de angiospermas.

Nos sites no sudoeste da Amazônia (estado do Acre) as densidades de madeira diferiram significativamente (Figura 2B; Tukey teste, $p = 0,000$). Na floresta aberta dominada por bambu a densidade básica média na altura do peito foi $0,540 \pm 0,149$ ($n = 87$; 95% IC $0,508 - 0,572$). Na floresta densa a densidade básica média foi $0,610 \pm 0,149$ ($n = 91$; $0,588 - 0,650$). Somente a densidade básica média na floresta aberta dominada por bambu no site do Acre diferiu dos sites do sul da Amazônia (Tukey teste, $p = 0,000$).

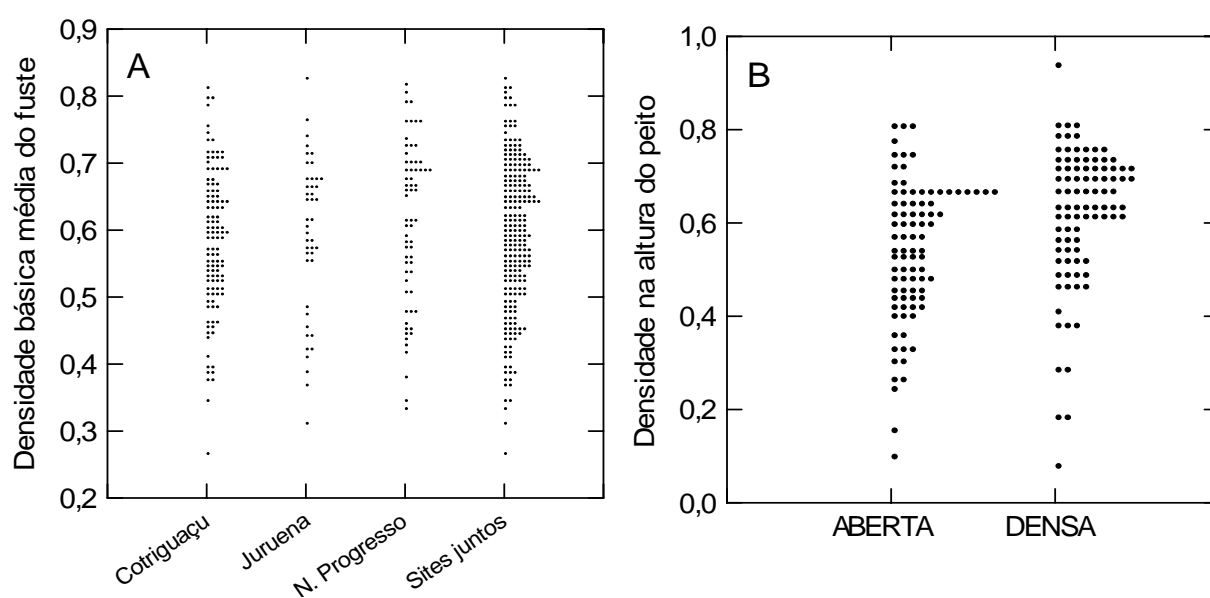


Figura 2. Densidade básica média ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) do fuste nos sites localizados no sul da Amazônia, floresta aberta (A) e densidade básica na altura do peito no sudoeste da Amazônia, estado do Acre (B): floresta aberta dominada por bambu e floresta densa livre de bambu. (A) As médias foram obtidas pela média aritmética entre a densidade na base (altura do peito ou final do toco para site em Juruena) e no final do fuste.

Em todos os sites no sul da Amazônia a densidade básica na base do fuste foi maior que no final do fuste em 8-10% (Figura 3). A densidade básica na base do fuste no site em Juruena foi $0,621 \pm 0,121$ ($n = 47$), 9,9% maior que no final do fuste – $0,565 \pm 0,124$ ($n=46$) – e 5,1% maior que a média para todo o fuste. No site em Cotriguaçu a densidade básica na altura do peito ($0,608 \pm 0,122$; $n = 126$) foi 9,2% maior que na altura final do fuste, $0,557 \pm 0,100$ ($n = 125$), e 4,1% maior que a média para o fuste. No site em Novo Progresso a diferença entre a densidade de madeira na altura do peito e na altura final do fuste foi 8,7%; o

valor foi $0,636 \pm 0,131$ ($n = 65$) na altura do peito e $0,585 \pm 0,116$ ($n = 65$) na altura final do fuste. A diferença entre a densidade na altura do peito e a média para o fuste foi similar à diferença encontrada para outros sites: 4,3%. Considerando a média aritmética de todas as árvores em cada site, a densidade média do fuste foi 4,2% menor que a média na altura do peito. Mais detalhes referentes à variação da densidade com a altura do fuste são dados na Tabela 1 e Figura 3.

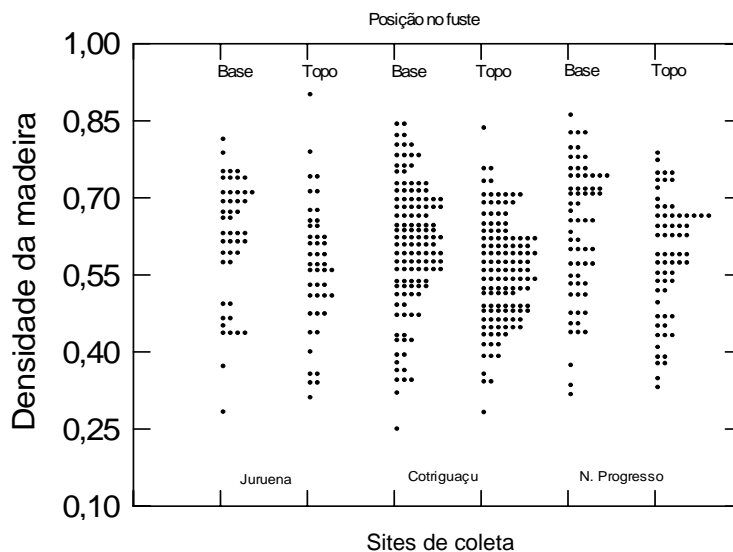


Figura 3. Diminuição na densidade básica da madeira ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a partir da base para o final do fuste. No site em Juruena ‘Base’ refere-se a amostras obtidas no final do toco. Nos sites em Cotriguaçu e Novo Progresso ‘Base’ refere-se a amostras obtidas na altura do peito (1,3 m).

Tabela 1. Detalhes de várias médias obtidas para todo o disco e para o cerne em duas posições ao longo do fuste.

Densidade básica (todo disco e cerne)	Juruena			Cotriguaçu			Novo Progresso			Todos os sites		
	Média (\pm d.p.)	n	95%	Média (\pm d.p.)	n	95%	Média (\pm d.p.)	n	95%	Média (\pm d.p.)	n	95%
Densidade média aritmética do fuste (discos com casca)	0,591 (0,118)	44	0,55-0,63	0,584 (0,106)	116	0,56-0,60	0,610 (0,121)	65	0,58-0,64	0,593 (0,113)	225	0,58-0,61
Densidade na base do fuste (disco com casca)*	0,621 (0,121)	47	0,59-0,66	0,608 (0,122)	126	0,59-0,63	0,636 (0,131)	65	0,60-0,67	0,618 (0,124)	238	0,60-0,63
Densidade no final do fuste (disco com casca)	0,565 (0,124)	46	0,53-0,60	0,557 (0,100)	125	0,54-0,57	0,585 (0,116)	65	0,56-0,61	0,566 (0,109)	236	0,55-0,58
Densidade do cerne: média aritmética do fuste	0,650 (0,131)	20	0,59-0,71	0,602 (0,119)	16	0,54-0,66	0,689 (0,084)	2	-	0,632 (0,125)	38	0,59-0,67
Densidade do cerne na base do fuste*	0,668 (0,145)	20	0,60-0,73	0,626 (0,143)	18	0,55-0,70	0,701 (0,116)	2	-	0,650 (0,141)	40	0,60-0,70
Densidade do cerne no final do fuste	0,633 (0,139)	20	0,57-0,70	0,578 (0,094)	19	0,53-0,62	0,677 (0,052)	2	-	0,610 (0,119)	41	0,57-0,65

Todos os valores demonstrados são densidade básica.

* No site em Juruena este valor se refere à densidade no final do toco devido a solicitação da companhia madeireira. Nos demais sites a densidade é sempre na altura do peito.

A densidade básica do cerne foi maior que a densidade básica no disco todo com casca (Figura 4; Tabela 1). A densidade do cerne foi $0,650 \pm 0,141$ ($n = 40$) na base do fuste e $0,610 \pm 0,119$ ($n = 41$) no final do fuste. A densidade básica média do cerne do fuste foi $0,632 \pm 0,125$ ($n = 38$). Considerando as mesmas árvores ($n = 30$), a densidade média do cerne do fuste foi 3,3% maior que a densidade básica média do fuste inteiro; os valores para a média diferem estatisticamente (Teste t pareado; $p = 0,036$).

Considerando todas as árvores nos sites no sul da Amazônia, não houve correlação entre a densidade de madeira média de todo o fuste e DAP (Fig. 5A) ou altura total (Fig. 5B). Nos dois sites no estado do Acre, não houve relacionamento entre a densidade básica da árvore na altura do peito e seu diâmetro ou altura.

Para as árvores no sul da Amazônia, a densidade básica de madeira (média do fuste) foi separada em três classes ($\leq 0,50 \text{ g.cm}^{-3}$, $0,50-0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ e $\geq 0,70 \text{ g.cm}^{-3}$). Espécies foram predominantemente leves (21%) e médias (62%), somente 17% pesadas. Considerando todas as espécies e morfo-espécies, 28% foram leves, 59% médias e 13% pesadas. Se a classificação das madeiras em pesada, média ou leve é baseada nos limites de intervalo de $\leq 0,50$, $0,50 - 0,72$ e $\geq 0,72$, de acordo com os procedimentos adotados pelo IBAMA (veja Brasil, Souza et al., 2002; Melo et al., 1990; Nogueira et al., 2005); a distribuição para todas as espécies e morfo-espécies mudam para 63% (média) e 9% (pesada).

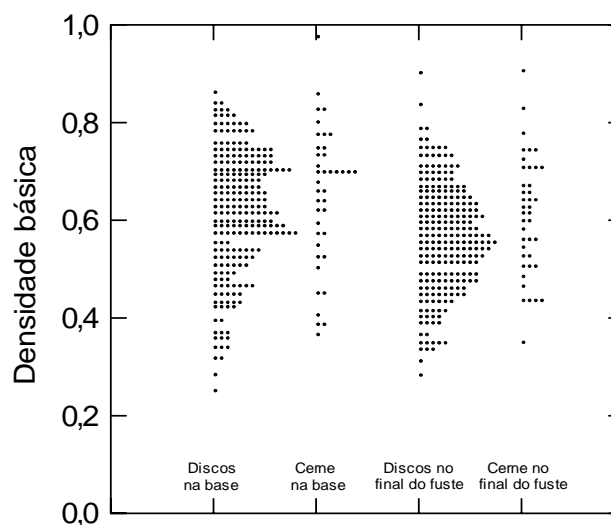


Figura 4. Variação radial entre a densidade básica (g.cm^{-3}) de todo o disco com casca e densidade básica do cerne.

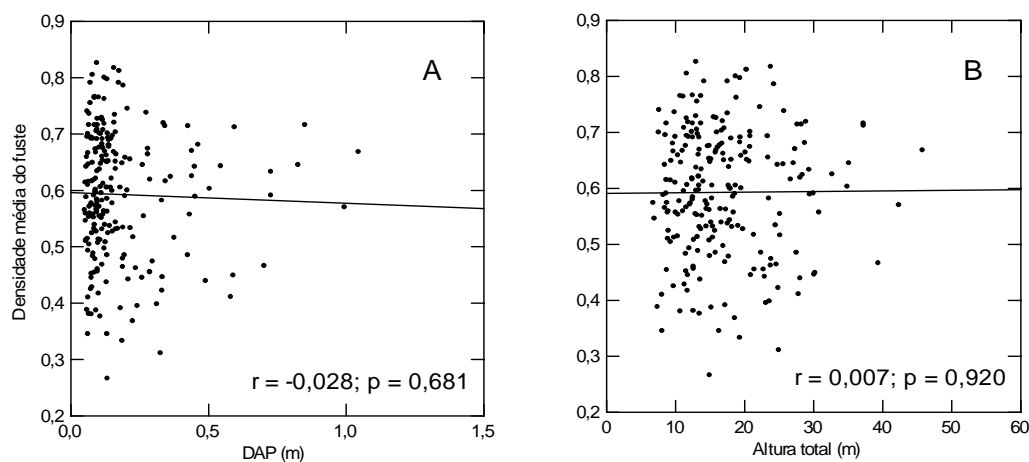


Figura 5. Relação entre a densidade média da madeira com o DAP (A) e a altura total (B).

Densidade básica de madeira por tipo de floresta na porção SSWA do ‘arco do desmatamento’

O uso de dados de densidade de madeira descritos em Fearnside (1997) para estimar a densidade média para toda a região Amazônica resulta em superestimativa da densidade de madeira média para os tipos de floresta que ocorrem no ‘arco do desmatamento’ (Fig. 6 A-C).

Usando os novos dados amostrados nos estados do Mato Grosso e Pará como descrito acima, as médias de densidade de madeira para todos os tipos de floresta (ponderado pelo volume das espécies baseados nos dois inventários do RadamBrasil: Folhas SC.21 Juruena e SC.20 Porto Velho) foram menor que as médias encontradas por Fearnside (1997, Tabelas 6 e 7) com diferenças variando de 8 a 22% (Tabela 2, Fig. 6A-C). A diferença média para todos os tipos de floresta nestas duas áreas inventariadas pelo RadamBrasil foi de 12,5% (Tabela 2). Incluindo novos dados de densidade do Acre com 4,2% de correção para altura ao longo fuste, aplicado para o inventário do RadamBrasil ‘SC.19 Rio Branco’, a redução total da densidade de madeira a partir de estimativas prévias de Fearnside (1997) para as três áreas de inventários do RadamBrasil que compreendem o sul e o sudoeste da Amazônia foi 13,6%. Esta porcentagem é a superestimativa na densidade de madeira para uma larga porção do ‘arco do desmatamento’ sem ponderar pela área de cada tipo de floresta.

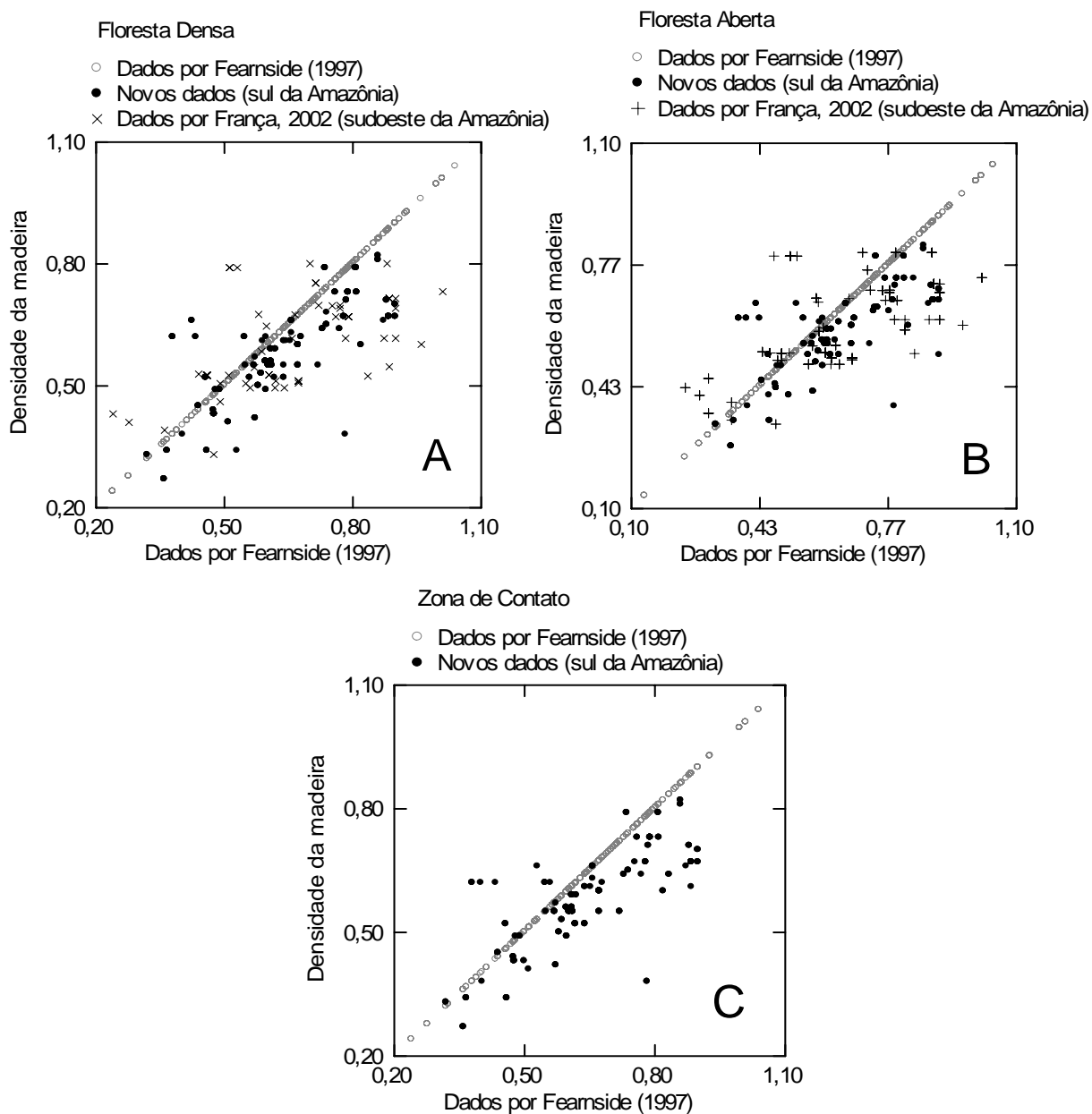


Figura 6. Comparação por tipo de floresta entre os dados usados por Fearnside (1997), os novos dados obtidos no sul do Pará e norte de Mato Grosso e dados obtidos por França (2002) no Acre. Os valores para densidade de madeira na figura representam a média em nível de espécie ou em nível de gênero (A e B) em florestas ombrófilas de terras baixas e submontana, densa ou aberta aluvial. (C) Áreas de tensão ecológica e contato entre savana/floresta ombrófila, savana/floresta sazonal e floresta ombrófila/floresta sazonal.

Ajuste para densidade e biomassa para toda a Amazônia brasileira

Aplicando a correção para baixo de 13,6% na densidade de madeira no SSWA, e ajuste para baixo de 5,3% nos valores de densidades usados por Fearnside (1997) para o resto da Amazônia brasileira, a nova média para a Amazônia brasileira como um todo é 0,642, um valor 7% menor que o valor de 0,69 encontrado por Fearnside (1997; Tabela 7). Na Tabela 3 novas médias para densidade de madeira são demonstradas por estado e tipo de floresta, incluindo todas as correções. Quando ponderado pelo volume da vegetação viva acima do solo, desmatada em 1990 em cada tipo de floresta (como descrito na Tabela 7 em Fearnside, 1997), a densidade média é reduzida para 0,631, ou uma redução adicional de 1,7%.

Tabela 2. Densidade de madeira média para cada unidade de vegetação no SSWA baseado em inventários de volume de madeira fornecidos em três publicações do Projeto RadamBrasil, e nas tabelas de densidade por táxon deste estudo e de Fearnside (1997).

Estado	Tipo de Vegetação	Fearnside (1997)	% Madeira indentificada: gênero/espécie em Fearnside (1997)	Novos dados	% Madeira indentificada: gênero/espécies a partir de Novos dados	Teste ^a	% Madeira indentificada: gênero/espécies em Teste	% Fearnside (1997)/Novos dados
Rondônia	Floresta ombrófila densa aluvial	0,653	80,2 / 58,3	0,554	33,5 / 11,9	0,629	30,2 / 14,2	17,87
Amazonas/Rondônia	Floresta ombrófila densa submontana	0,732	80,1 / 51,8	0,599	32,6 / 7,1	0,672	30,3 / 14,1	22,20
Rondônia/Amazonas	Floresta ombrófila densa submontana	0,678	72,3 / 45,4	0,604	42,4 / 14,2	0,694	37,2 / 14,2	12,25
Rondônia/Mato Grosso	Floresta ombrófila densa submontana	0,666	79,5 / 53,7	0,596	25,8 / 6,9	0,654	23,9 / 6,9	11,74
Rondônia/Amazonas	Floresta ombrófila aberta de terras baixas	0,691	81,0 / 50,9	0,607	31,2 / 8,1	0,663	30,3 / 7,9	13,84
Rondônia	Floresta ombrófila aberta aluvial	0,637	84,5 / 60,8	0,556	35,6 / 8,7	0,609	32,1 / 8,1	14,57
Rondônia/Mato Grosso/Amazonas	Floresta ombrófila aberta submontana	0,66	76,6 / 51,6	0,594	36,0 / 13,7	0,666	32,9 / 12,9	11,11
Mato Grosso/Rondônia/Amazonas	Floresta ombrófila aberta submontana	0,705	79,1 / 49,2	0,604	32,9 / 8,7	0,685	30,9 / 8,5	16,72
Rondônia/Amazonas	Savana/Floresta ombrófila; Savana/Floresta ombrófila densa	0,667	80,4 / 48,7	0,584	35,0 / 12,7	0,646	32,4 / 12,3	14,21
Mato Grosso	Floresta ombrófila densa aluvial	0,659	86,9 / 63,4	0,609	36,4 / 15,4	0,673	30,7 / 13,6	8,21
Mato Grosso	Floresta ombrófila densa submontana	0,666	85,1 / 63,2	0,582	42,0 / 20,7	0,660	37,4 / 18,6	14,43
Mato Grosso	Floresta ombrófila aberta submontana	0,645	83,4 / 57,0	0,588	42,1 / 16,70	0,635	38,6 / 26,6	9,69
Mato Grosso	Savana/Floresta sazonal	0,634	87,5 / 57,3	0,582	39,1 / 12,7	0,651	37,1 / 23,1	8,93
Mato Grosso	Floresta ombrófila/Floresta sazonal	0,651	81,6 / 52,3	0,585	40,4 / 17,8	0,667	36,0 / 21,0	11,28
Acre/Amazonas	Floresta ombrófila densa de terras baixas	0,65	80,2 / 51,5	0,572 ^b	30,5 / 5,8	0,647	28,0 / 15,3	8,88
Acre/Amazonas	Floresta ombrófila aberta de terras baixas	0,657	75,0 / 50,8	0,550 ^b	39,3 / 7,1	0,690	34,2 / 22,8	14,46
Amazonas/Rondônia	Floresta ombrófila aberta submontana	0,664	94,7 / 50,1	0,589 ^b	38,7 / 3,1	0,697	37,6 / 13,7	7,97
Acre/Amazonas	Floresta ombrófila aberta aluvial	0,602	70,1 / 46,2	0,534 ^b	37,7 / 7,0	0,632	28,3 / 16,8	8,08
	Média	0,662		0,583		0,659		12,58

Aqui os dados de Fearnside não foram corrigidos para variação radial. O percentual de madeira identificada ao nível de gênero e espécie é dado nos dois estudos. Os inventários de volume florestal do RadamBrasil incluem somente árvores acima de 31,8 cm DAP. Veja o texto para explicação da coluna 'Teste'.

^a Coluna 'Teste' fornece a densidade de madeira média para cada unidade de vegetação usando uma tabela de densidade por táxon de Fearnside (1997), mas somente considerando aqueles táxons encontrados no novo banco de dados deste estudo (Anexo A). O teste demonstra que a redução na densidade é pouco afetada pela fração de identificações feitas ao nível de espécies.

^b Baseados nos dados do leste do Acre listados no Anexo B. A densidade da madeira foi mensurada somente na altura do peito, então reduzida por 4,2% devido a diminuição longitudinal na densidade com a altura do fuste. Sem esta correção, os valores foram: 0,597, 0,574, 0,615, e 0,557. Todos os outros valores na mesma coluna foram calculados a partir dos novos dados obtidos no sul da Amazônia (Anexo A).

Tabela 3. Nova média de densidade de madeira para a Amazonia Brasileira (atualizada a partir de Fearnside, 1997): médias ponderadas pelo volume por zona de vegetação, tipo de vegetação e estado (g cm⁻³).

Tipo de vegetação florestal: Grupo, Subgrupo e classe (código)		Acre	Amapá	Amazonas	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins/ Goiás	Média ponderada por área
Floresta Ombrófila	Densa aluvial (Da-0)		<i>0,634</i>	0,635		0,609	<i>0,634</i>	0,554	0,635	<i>0,634</i>	0,634
	Densa de terras baixas (Db-0)	0,572	<i>0,634</i>	0,662	<i>0,634</i>		0,701	<i>0,668</i>	0,636		0,668
	Densa montana (Dm-0)		<i>0,646</i>	<i>0,646</i>			<i>0,646</i>		0,646		0,646
	Densa submontana (Ds-0)	0,687	<i>0,687</i>	0,696	<i>0,687</i>	0,582	0,695	0,599	0,670	<i>0,687</i>	0,687
	Média de florestas densas										0,672
Floresta Ombrófila	Aberta aluvial (Aa-0)	0,534		0,534			0,534	0,534			0,534
	Aberta de terras baixas (Ab-0)	0,550		0,620				0,595			0,595
	Aberta submontana (As-0)			0,589		0,588	<i>0,589</i>	0,589	0,589	<i>0,589</i>	0,589
	Decídua submontana (Cs-0)				<i>0,602</i>	<i>0,602</i>	<i>0,602</i>			<i>0,602</i>	<i>0,602</i>
Floresta Sazonal	Semidecídua aluvial (Fa-0)					<i>0,602</i>					<i>0,602</i>
	Semidecídua submontana (Fs-0)					<i>0,602</i>	<i>0,602</i>	<i>0,602</i>	<i>0,602</i>	<i>0,602</i>	<i>0,602</i>
Campinarana	Aberta arbórea (La-0)			0,711					<i>0,711</i>		0,711
	Densa arbórea (Ld-0)			<i>0,602</i>					<i>0,602</i>		<i>0,602</i>
	Gramínea-lenhosa (Lg-0)			<i>0,602</i>					<i>0,602</i>		<i>0,602</i>
Áreas de tensão ecológica e contato (ecótonos)	Campinarana – floresta ombrófila (LO-0)			0,642					0,642		0,642
	Floresta Ombrófila – floresta sazonal (ON-0)					0,585	<i>0,587</i>	<i>0,587</i>	0,679		0,587
Áreas de formações pioneiras (sucessão inicial)	Influência Flúvio-marinha (Pf-0)		<i>0,602</i>		<i>0,602</i>		<i>0,602</i>				0,602
Áreas de tensão ecológica e contato (ecótonos)	Savana-floresta ombrófila densa (SM-0)				<i>0,602</i>						0,602
	Savana-floresta sazonal (SN-0)			0,583	<i>0,583</i>	0,582	<i>0,583</i>	<i>0,583</i>	0,714	<i>0,583</i>	0,583
	Savana-floresta ombrófila (SO-0)		<i>0,672</i>	0,655		<i>0,672</i>	<i>0,679</i>	<i>0,672</i>	<i>0,672</i>	<i>0,672</i>	0,672
	Média das florestas não-densas										0,602
	Média de todas as florestas										0,642

Valores em itálico são para ecoregiões sem dados espécie-específicos; a média ponderada por área para o mesmo tipo de vegetação em outro estado foi substituída. Para os sete tipos de florestas não-densas com ausência de dados para qualquer estado, a média ponderada por área para todas as florestas não-densas foi usada. Para informações detalhadas a cerca destes tipos de floresta, veja Fearnside (1997).

Discussão

Condições ambientais e variação na densidade de madeira

Estudos têm de modo geral assumido que a variação na densidade de madeira é puramente dirigida pela variação na composição de espécies. Embora haja importante influências ambientais, a média de densidade de madeira é conservada filogeneticamente (Chave et al., 2006). A amplitude da densidade de madeira exibida para determinadas espécies provavelmente tem componentes geneticamente determinados associados com alometria de crescimento intrínsecas e outras feições da arquitetura das espécies (Meinzer, 2003; Sterck et al., 2006; van Gelder et al., 2006; Wright et al., 2003).

A variação na densidade de madeira média por floresta tem sido analisada pela composição de espécies de árvores (Terborgh and Andersen, 1998; ter Steege et al., 2006). Assim, no sul da Amazônia uma causa da menor densidade de madeira nas florestas seria o aumento da abundância de espécies com baixa densidade (ter Steege et al., 2006), com maior frequência de famílias que tem madeira leve. Em regiões semelhantes no sudoeste da Amazônia brasileira, aberturas abundantes em florestas abertas são criadas por lianas ou bambu semi-escandentes favorecendo espécies de árvores com baixa densidade de madeira (Nelson et al., 2006; Putz et al., 1983). No Acre, a densidade de madeira média em uma floresta aberta dominada por bambu foi 0,51, versus 0,60 em uma floresta vizinha sem bambu (França, 2002). O bambu também reduziu o número de árvores grandes por hectare. Com menor densidade de madeira e menos árvores grandes, a floresta dominada por bambu teve metade da biomassa da floresta densa (França, 2002; Nelson et al., 2006).

É entendido que a variação em certos fatores ambientais podem dirigir estes padrões em composição e densidade de madeira. Densidade de madeira tem sido demonstrada variar com diferentes condições ambientais. Alguns fatores como a fertilidade do solo (Baker et al., 2004; Muller-Landau, 2004), e condições de luz (van Gelder et al., 2006) são reconhecidas por afetar a densidade de madeira ao nível de parcelas. A intensidade de radiação solar é maior, mas mais sazonal nas margens sul da Amazônia, onde o clima altera em direção às condições não-tropicais e há longas estações secas (Malhi et al., 2004). Devido o longo período seco no sul da Amazônia, o grau da sazonalidade e a magnitude do estresse por seca que resulta, pode afetar a densidade. Isto porque a densidade de madeira determina a variação em um conjunto de características relacionadas à eficiência e integridade do transporte de água no xilema, a regulação do balanço de água na folha, e evita a perda de turgor (Hacke et al., 2001; Meinzer, 2003). O ganho em resistência na cavitação com o aumento na densidade de madeira parece estar associado com um custo em termos de reduzir a condutividade hidráulica. Assim, para

plantas crescendo em condições ambientais áridas é razoável sugerir que o aumento na resistência à cavitação é uma característica vantajosa, mas, apesar da potencial influência ambiental, uma ampla variação de densidades de madeira co-existem tanto em condições áridas como em úmidas. As evidências acumuladas sugerem que dentro dos trópicos, sazonalidade e pluviosidade (Borajas-Morales, 1987; Wiemann and Williamson, 2002) não explica a variação regional em larga-escala da densidade de madeira (Baker et al., 2004; Muller-Landau, 2004), embora esta característica restrinja opções fisiológicas relacionadas à economia de água na planta, conduzindo para uma ampla convergência funcional (Meinzer, 2003).

Portanto, idealmente é importante amostrar dados de densidade de madeira nas áreas de estudo, mais que simplesmente usar valores publicados de médias de espécie. A densidade de madeira média a nível de espécie obtida a partir de dois conjuntos de dados com método de amostragem idênticos (floresta densa na Amazônia central, Nogueira et al., 2005 e floresta aberta no sul da Amazônia, novos dados reportados neste estudo) permitiu uma comparação da densidade de madeira média do fuste entre locais para as duas espécies. Para *Brosimum lactescens* (S. Moore) C.C. Berg (Moraceae) na Amazônia central a densidade de madeira média do fuste foi 0,708 (n = 2) versus 0,620 (n = 8) no sul da Amazônia. A densidade de madeira de *Pouteria anomala* (Pires) T.D. Penn. (Sapotaceae) foi 0,725 (n = 4) na Amazônia central e 0,680 (n = 4) no sul da Amazônia. Apesar do conservatismo filogenético em densidade, este exemplo sugere um importante efeito de condições ambientais, tais como solos. Eles também sugerem que estudos comparativos empregando uma metodologia uniforme entre várias espécies em diferentes solos e tipos de florestas podem melhorar o entendimento de efeitos separados dos fatores ambientais a uma pequena escala.

Análises de respostas ao meio ambiente na densidade de madeira e nos padrões de composição de espécies podem ajudar a definir o papel destes dois efeitos em gradientes de densidade na Amazônia (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006). Os resultados deste capítulo fornecem densidades de madeira específicas para o sul da Amazônia, onde o período seco é longo (seis meses com precipitação abaixo de 100 mm: Brazil, ANA/SIH, 2006). É precisamente nestas porções da Amazônia que tem há maior ausência de dados em estudos prévios que não têm encontrado relação entre a densidade de madeira com variáveis climáticas (Malhi et al., 2004, 2006).

Densidade de madeira média: variação radial e variação ao longo do comprimento do fuste

As mudanças na densidade ao longo do fuste e na direção radial para floresta aberta no sul da Amazônia são similares àquelas encontradas em floresta densa na Amazônia central (Nogueira et al., 2005). A variação radial média (diferença entre as densidades do cerne e do disco completo) é 3,3% aqui e 5,3% na Amazônia central. A variação ao longo do comprimento do fuste (diferença entre a densidade do disco completo na altura do peito e de todo o fuste) foi 4,2% para o sul da Amazônia, e 4,3% na Amazônia central. Devido estas variações, o uso de conjunto de dados de densidade de madeira previamente publicados obtidos por diferentes metodologias pode parcialmente explicar diferenças entre médias reportadas por vários outros autores, incluindo a acurácia de recentes estimativas. Os maiores conjunto de dados de densidade de madeira não foram designados para estimativa de biomassa de árvore. São escassos dados de densidade de madeira obtidos a partir de amostras adequadamente posicionadas no fuste ou com o peso seco e o volume determinados por métodos apropriados (veja Fearnside, 1997 e Nogueira et al., 2005, pp. 268-269).

A normalização dos dados de densidade de madeira pode ser obtida através de modelos lineares como sugerido por Reyes et al. (1992). A normalização pode também ser feita usando equações para conteúdo de umidade como proposto por Brotero (1956) e Oliveira (1981), como usado nas listas do IBAMA, ou com equações de Sallenave (1971) usadas por Chave et al. (2006).

Correções para a posição de amostragem no fuste podem ser feitas usando modelos lineares desenvolvidos por Nogueira et al. (2005) ou utilizando simples correções de percentagem. No entanto, estes modelos não foram testados para floresta aberta no sul da Amazônia. Estes modelos têm a conveniência de somente requererem transformações para a variável independente, neste caso a densidade de madeira. Entretanto, não é possível utilizar esses modelos para todas as correções. Por exemplo, o modelo não foi testado por comparação direta entre amostras retiradas do interior da árvore ('*cores*') feitas por perfuração (*increment borers*) com discos inteiros incluindo casca, mas um grande número de estudos recentes tem usado amostras obtidas a partir de *increment borers* (DeWalt and Chave, 2004; King et al., 2006; Muller-Landau, 2004; Woodcock, 2000; Woodcock and Shier, 2003). É difícil padronizar adequadamente para estimativas de todo o fuste (*i.e.*, com correções para variação radial e variação ao longo do fuste) o amplo conjunto de dados de densidade de madeira para a Amazônia brasileira (Brazil, IBDF, 1981, 1983, 1988). É importante atentar para os métodos usados nas medições de peso e volume, tais como o tempo e a temperatura de secagem e apropriado uso do método de deslocamento de água (Trugilho et al., 1990).

Enquanto erros para estes fatores podem ser ignorados para um propósito que não requer um alto nível de acuracidade em estimativas de densidade média, os erros são muito largos para estimativa de biomassa em florestas tropicais. Isto é porque uma diferença de pequeno percentual na densidade de madeira média pode implicar em largos erros nos cálculos de balanço de carbono.

Densidade básica de madeira por tipo de floresta no 'arco do desmatamento', porções sul e sudoeste da Amazônia brasileira: Ajustes para biomassa e estimativas de emissão de carbono

As estimativas de densidade de madeira para a região Amazônica têm sido aperfeiçoadas por estudos recentes (Baker et al., 2004; Chave et al., 2006; Nogueira et al., 2005). As estimativas recentes são significativamente diferentes de valores reportados para regiões específicas, as quais foram usadas em cálculos prévios de densidade de madeira para a Amazônia brasileira como um todo. O valor de $0,69 \text{ g cm}^{-3}$ tem sido usado em muitas estimativas de biomassa e emissão de carbono (Brown et al., 1989; Brown, 1997; Houghton et al., 2001) e é baseada em Brown et al. (1989) e Fearnside (1997). Em Fearnside (1997) os valores que foram usados em cada região foram ponderados pela área ocupada por cada tipo de floresta. A comparação destes valores utilizados no cálculo da média de $0,69$ com recentes estimativas reforça a sugestão de uma superestimativa na densidade de madeira média para a Amazônia brasileira (Nogueira et al., 2005). Por exemplo, a estimativa média para floresta densa ($0,66$) por Chave et al. (2006) é similar à média de $0,67$ encontrada por Nogueira et al. (2005), e ambas são menores que o valor de $0,70$ derivado por Fearnside (1997) para o mesmo tipo de floresta. Para o sul e sudoeste da Amazônia, o presente estudo encontrou a média de $0,58$, próximo a $0,60$ encontrado por Chave et al. (2006) para o sudoeste da Amazônia e também menor que os valores em Fearnside (1997). A densidade de madeira média para 2456 espécies de árvores a partir da América central e sul por Chave et al. (2006) foi $0,645 \text{ g cm}^{-3}$. Este valor é similar ao valor de $0,642 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 3) encontrada neste capítulo para toda a Amazônia brasileira obtida por atualização dos valores em Fearnside (1997), usando o volume inventariado de cada táxon e a área de cada tipo de floresta. A densidade de madeira média reportada neste capítulo foi obtida a partir de uma lista de densidade por táxon substancialmente menor que de Chave et al. (2006). No entanto, os dois novos conjuntos de dados apresentados neste estudo foram diretamente amostrados no sul e sudoeste da Amazônia e representam o fuste como um todo. Além disso, este estudo fez ajustes para variação radial de outros dados utilizados em Fearnside (1997).

Devido a necessidade de avaliar a consistência das médias obtidas usando o novo conjunto de dados para o SSWA e o conjunto de dados de França (2002) para o Acre, as médias foram comparadas somente para espécies que foram coincidentes entre o conjunto de dados de Fearnside (1997) e o novo conjunto de dados descrito aqui para o sul e sudoeste da Amazônia. A coluna ‘teste’ na Tabela 2 demonstra que os resultados são similares, com diferentes reduções na percentagem de nível de espécies. Com a exceção para poucas espécies, o conjunto de dados usado por Fearnside (1997) para os amplos inventários do RadamBrasil tem uma tendência de superestimar a densidade de madeira (Figure 6 A-C).

Uma gama extensiva de estimativas tem sido feitas de emissão de carbono a partir de mudanças na cobertura da terra nos trópicos (Achard et al., 2002, 2004; DeFries et al., 2002; Fearnside, 2000a,b; Houghton, 2003a,b, 2005; McGuire et al., 2001). Os resultados do presente estudo implicam em ajuste para baixo de todas as estimativas em paralelo. Conseqüentemente haveria pouco efeito sobre as diferenças relativas entre as várias estimativas prévias de biomassa e emissão de carbono para a Amazônia (o efeito não é zero porque somente os valores para biomassa de floresta primária são afetados, não aqueles para as florestas secundárias as quais ao crescerem contrabalança parte da emissão grossa). A redução na emissão líquida comprometida é grande porque é aplicada nos dois maiores tipos de floresta submetidos a desmatamento nos anos recentes (veja Brazil, INPE, 2006; Houghton et al., 2001). A redução de $23,4-24,4 \times 10^6$ Mg of CO₂-equivalente C/ano em 1990 para cenários de gases-traço baixo e alto, respectivamente, é suficientemente grande para ser significativa no balanço global de carbono. Considerando somente a biomassa viva e morta (i.e., ignorando solos, gado, periódica queima e outras fontes de emissão), esta redução representa 9,4-9,5% da emissão grossa, ou 10,7% da emissão líquida comprometida como calculada por Fearnside (2000a, com correções para fator de forma e árvores ocas como descrito em Fearnside and Laurance, 2004). Para estimativas (Fearnside, 2007) que incluem ajustes na densidade de madeira baseadas em dados da Amazônia central de Nogueira et al. (2005), o conjunto de dados do SSWA deste estudo reduz as emissões estimadas de 1990 por 4,1% para emissões grossas e 4,3% para emissão líquida comprometida. As emissões grossas corrigidas para 1990 é $247,7-257,5 \times 10^6$ Mg de CO₂-equivalente C/ano, enquanto a emissão líquida comprometida é $218,1-227,8 \times 10^6$ Mg de CO₂-equivalente C/ano para emissão por biomassa somente, e $230,0-239,7 \times 10^6$ Mg de CO₂-equivalente C/ano incluindo solos e outras fontes. O desmatamento em 1990 (o ano base padrão para inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas) foi $13,8 \times 10^3$ km² (em

florestas primárias somente, não estão contabilizadas corte de savanas ou re-corte de florestas secundárias).

Apesar deste novo conjunto de dados da SSWA e os recentes estudos com estimativas melhoradas, o argumento de Fearnside (1997) é ainda válido: há uma necessidade de expandir o conjunto de dados sobre densidade de madeira de uma maneira mais bem distribuída ao longo da região Amazônica. É particularmente importante expandir o número de coletas em regiões submetidas a desmatamento.

Conclusão

Este estudo sugere que os valores médios de densidade de madeira para a região Amazônica como um todo que têm sido amplamente usados em estimativas de biomassa foram superestimados, provavelmente porque eles foram obtidos usando um conjunto de dados com incertezas na metodologia e que foram restritos quanto ao tipo de floresta. A ausência de um conjunto de dados de densidade de madeira diretamente amostrados nos tipos de florestas submetidas a desmatamento é uma importante causa de emissão de carbono superestimada para a Amazônia brasileira. Considerando os tipos de floresta e a composição de espécies para florestas no sul e sudoeste da Amazônia, um ajuste para baixo de 13,6% é necessário relativo à média utilizada em muitas estimativas prévias. Para a Amazônia brasileira como um todo, a densidade de madeira média previamente estimada por Fearnside (1997) deve ser diminuída por 7%, para 0,642. Para a densidade de madeira média ponderada pelo o volume desmatado em 1990 em cada tipo de floresta o valor é diminuído por 9% para 0,631. O impacto sobre as estimativas de biomassa e sobre emissão de carbono é substancial porque o maior ajuste é necessário exatamente nos tipos de florestas submetidas a maior desmatamento. A estimativa de emissão líquida comprometida para a Amazônia brasileira em 1990 que já incluem valores de densidade de madeira ponderadas pelo volume de cada espécie presente nas localizações submetidas a desmatamento (*e.g.*, Fearnside, 2000a,b com ajuste descrito em Fearnside and Laurance, 2004) seria reduzido por 10,7%: $23,4-24,4 \times 10^6$ Mg CO₂-equivalente C/ano para cenários de gases-traço alto e baixo, respectivamente. O impacto é suficiente para afetar o balanço global de carbono. Estes novos dados ajudam a reduzir incertezas em vários estudos prévios de biomassa e no balanço de carbono para a Amazônia.

Capítulo II - Regressões lineares para normalização de densidade de madeira em estimativas de biomassa de florestas na Amazônia²

Resumo

A densidade de madeira é uma importante variável necessária para obter acuradas estimativas de biomassa e fluxo de carbono nas regiões tropicais. Entretanto, na região Amazônica faltam dados de densidade amostrados em larga-escala que empregam uma metodologia adequada para uso em estimativas de biomassa e emissão de carbono. A normalização do conjunto de dados disponíveis é necessária para evitar viés em estimativas que combinam prévios estudos de densidade de madeira, os quais usaram amostragem de madeira em diversas posições no fuste ou diferentes métodos para determinação da densidade. Este capítulo examina se regressões que descrevem a variação radial e ao longo do fuste da densidade, ambas desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (CA), são adequadas para florestas abertas no sul da Amazônia (SA), região alvo da maior parte do desmatamento. A densidade de madeira do cerne e a densidade do disco inteiro ou fatias (casca, albarno e cerne) em cada árvore (n = 146 árvores na CA; 76 no SA) foram medidas para avaliar a variação radial. Portanto a amostragem não é representativa ao nível de comunidade, mas somente para árvores com cerne. Para a variação ao longo do comprimento do fuste, as densidades da madeira na altura do peito e na altura final do fuste foram usadas (307 árvores na CA; 235 no SA). O conteúdo de umidade do fuste foi medido para 223 árvores no SA e comparado com valores reportados por estudos na CA em similar floresta densa (n = 50 árvores). Comparando regressões que estimam a densidade do disco inteiro a partir da densidade do cerne, o padrão de variação radial difere levemente e significativamente entre os dois tipos de floresta (ANCOVA p = 0,001), mas tende a se igualar caso seja considerado somente a inclinação da regressão e desprezado o valor da constante. A variação ao longo do fuste nos dois tipos de floresta não diferiu significativamente (p = 0,144). Desta forma o modelo da CA usado para estimar a densidade média do fuste a partir da densidade de uma fatia amostrada na altura do peito resulta em consistente estimativa da densidade média do fuste quando aplicada para árvores do SA. No SA o conteúdo de umidade médio do fuste foi 0,416 (\pm 0,068 d.p.; n = 223 árvores). O conteúdo de umidade do fuste tem uma forte relação inversa com a densidade básica da madeira (correlação de Pearson = -0,77, p = 0,000; n=222), o que explica o menor conteúdo de umidade nas árvores na CA comparado ao SA. Houve uma correlação inversa mais fraca entre conteúdo de umidade e densidade de madeira verde (r = -0,292, p = 0,000; n = 222). Estes dois resultados são esperados se a densidade do tecido da madeira seco livre de ar varia pouco em todas as espécies e se árvores com madeira menos densa estocam mais água, mas não muito mais ar, no mesmo volume de madeira verde. O relacionamento entre a densidade básica da madeira e a densidade da madeira verde ('fresca') apresentada neste capítulo fornece um meio alternativo para obter a densidade básica da madeira diretamente no campo quando a secagem das amostras não é possível.

Palavras-chave: Florestas Amazônicas, densidade básica de madeira, aquecimento global, densidade de madeira verde, regressões lineares, conteúdo de umidade.

² Esse capítulo está escrito sob as normas da revista Forest Ecology and Management.

Introdução

A densidade da madeira tem sido reconhecida como uma importante variável para aperfeiçoar as estimativas de biomassa em florestas da Amazônia (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006) e estimativas de emissão de gases de efeito estufa (Fearnside, 2007; Nogueira et al., 2005, 2007). Recentes estimativas em larga-escala de densidade de madeira ao longo da Amazônia têm sido baseadas em uma variedade de estudos prévios (Baker et al., 2004; Chave et al., 2006; Fearnside, 1997). Entretanto, muitos dados de densidade de madeira amostrados na Amazônia foram obtidos para uso tecnológico e comercial e não para estimativa de biomassa (e.g., Brasil, IBAMA, 1997; Brasil, IBDF, 1981, 1983, 1988; Feldalto et al., 1989; Souza et al., 2002). Os estudos diferem na metodologia de coleta, bem como na posição de amostragem no fuste e o modo pelo qual o peso e o volume foram determinados, normalmente tendendo a superestimar a média da densidade de madeira (Fearnside, 1997; Nogueira et al., 2005). Para estimativas de biomassa a melhor medida é a densidade básica (peso completamente seco dividido pelo volume verde) expressa como a média do fuste, isto é, incluindo correções apropriadas para a variação radial e a variação ao longo do comprimento do fuste de cada árvore. Portanto, a fim de usar o conjunto de dados disponíveis são necessárias acuradas correções para evitar viés nas médias de densidade de madeira calculadas a partir de diferentes medições.

Várias equações previamente publicadas possibilitam estimar a densidade básica a partir de dados obtidos por diversos métodos de medições da densidade da madeira, tais como métodos que reportam densidade com 12% de conteúdo de umidade (e.g., Brotero, 1956; Oliveira, 1981; Reyes et al., 1992; Sallenave, 1971) (Tabela 1). Recentes estimativas de densidade em larga-escala têm adotado a normalização para conteúdo de umidade (Baker et al., 2004; Chave et al., 2006). Entretanto, correções para a posição de amostragem no fuste não têm sido aplicadas nestas recentes estimativas. Diferentes padrões de variação radial na densidade da madeira e da variação ao longo do fuste têm sido encontrados em árvores tropicais, com a densidade declinando a partir do cerne para fora em florestas maduras ou em espécies de estágio sucessional tardio e o inverso ocorrendo em espécies tipicamente colonizadoras, e um declínio na densidade com a altura do fuste em espécies de todos os grupos (Nogueira et al., 2005, 2007; Suzuki, 1999; Wiemann and Williamson, 1988; 1989; Wittmann et al., 2006; Woodcock and Shier, 2002; 2003).

Tabela 1. Equações previamente publicadas que relacionam a densidade da madeira com diferentes conteúdos de densidade. São reportadas somente equações que foram usadas em prévios estudos sobre densidade de madeira de espécies tropicais.

<i>Modelos para normalização do conteúdo de umidade da densidade da madeira</i>	<i>Detalhes dos modelos</i>	<i>Referência</i>
$[\text{Densidade}_{(12\% \text{ conteúdo de umidade})}] = 0,974 \times ((1 + 0,15 \times \text{CVS}) / (1 + 0,12 \times \text{CVS})) \times [\text{Densidade}_{(15\% \text{ conteúdo de umidade})}]$	CVS = coeficiente de retratibilidade volumétrico.	Brotero (1956), equação usada por Souza (2002)
$[\text{Densidade}_{(n\% \text{ conteúdo de umidade})}] = [\text{Densidade básica}] \times ((1 + n/100) \times (1 - \text{CVn}/100))^{-1}$	CVn = contração volumétrica sofrida pela madeira até atingir n% conteúdo de umidade.	Oliveira (1981), equação usada por Souza (2002)
$[\text{Densidade básica da madeira}] = [\text{Densidade}_{\% \text{ conteúdo de umidade}}] - (\% \text{ conteúdo de umidade} \times d) / (1 + v \times (\text{ponto de saturação da fibra} - \% \text{ conteúdo de umidade}))$	d = fator de correção do peso por 1% de mudança no conteúdo de umidade; v = variação no volume por mudança de 1% no conteúdo de umidade.	Sallenave (1971), equação usada por Chave et al. (2006)
$[\text{Densidade básica da madeira}] = 0,872 \times [\text{Densidade}_{(12\% \text{ conteúdo de umidade})}]$	n = 1893; $r^2 = 0,983$. O fator 0,872 foi encontrado por Chave et al. (2006) baseado em amostras de madeira de Sallenave a partir de muitas florestas tropicais.	Chave et al. (2006) a partir de Sallenave (1955, 1964, 1971)
$[\text{Densidade básica da madeira}] = 0,0134 + 0,800 \times [\text{Densidade}_{(12\% \text{ conteúdo de umidade})}]$	n = 379 árvores (usando dados em Chudnoff, 1984); $r^2 = 0,988$.	Reyes et al. (1992)

Veja Simpson (1993) para outras equações e tabelas para determinar a densidade a partir do conteúdo de umidade.

Algumas compilações de densidade de madeira publicadas são baseadas em amostras do cerne feitas próximas à altura do peito. Regressões lineares são disponíveis relacionando a densidade da madeira de um disco inteiro (casca, alborno e cerne) à densidade do cerne e para relacionar a densidade da madeira de um disco inteiro na altura do peito à densidade básica média do fuste (veja Tabela 2), mas estas relações não têm sido testadas em florestas do sul da Amazônia. É particularmente importante ter equações de correção da densidade para aperfeiçoar estimativas de biomassa nas florestas abertas que ocorrem na borda sul da região Amazônica onde a maior parte do desmatamento e emissão de carbono tem ocorrido (Brasil, INPE, 2006). As condições ambientais nesta região são diferentes daquelas encontradas na floresta densa da Amazônia central porque os solos são mais férteis, a insolação é maior e a estação seca mais longa; todas essas características afetam de algum modo a densidade da madeira (Malhi et al., 2004; Sombroek, 2000; ter Steege et al., 2006). A menor densidade de madeira menor encontrada em florestas abertas com uma prolongada estação seca no sul da Amazônia (Nogueira et al., 2007) sugere uma relação com a água estocada no tronco, o que conseqüentemente ajuda a explicar a fenologia e a distribuição das espécies (Borchert, 1994; Reich and Borchert, 1984; Schulze et al., 1988).

Tabela 2. Regressões lineares desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (CA) testadas neste estudo.

<i>Modelos para correção da densidade da madeira na posição de amostragem no fuste*</i>	<i>Estatística das Regressões</i>
(1) [Densidade básica do disco na altura do peito] = 0,146 (±0,014) + 0,765 (±0,017) × [Densidade básica do cerne]	Coefficientes ± Erro Padrão; r ² = 0,931, MSE = 0,033, F = 1945, n = 146.
(2) [Densidade básica média do fuste] = 0,219 (±0,014) + 0,630 (±0,018) × [Densidade básica do cerne]	Coefficientes ± Erro Padrão; r ² = 0,893, MSE = 0,034, F = 1199, n = 145.
(3) [Densidade básica média do fuste ajustada para o afilamento] = 0,099 (±0,020) + 0,808 (±0,028) × [Densidade básica do disco]	Coefficientes ± Erro Padrão; r ² = 0,925, MSE = 0,027, F = 832, n = 69.

*Fonte de dados: Nogueira et al. (2005)

Neste estudo três regressões lineares desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (Tabela 2, a partir de Nogueira et al., 2005) foram avaliadas para viés quando utilizadas para variação radial e vertical da densidade da madeira de árvores nas florestas abertas do sul da Amazônia (Tabela 2). Se as relações lineares nestes dois tipos de florestas não são significativamente diferentes, uma simples regressão agrupada pode ser desenvolvida

para as duas florestas. Uma regressão agrupada pode também ter maior precisão. Finalmente, para florestas abertas no sul da Amazônia este estudo também examinou a razão entre a massa verde e massa seca para cada amostra. Esta razão foi considerada ser equivalente a o conteúdo de umidade do fuste quando obtido a partir amostras na base e no final do fuste.

Materiais e Métodos

Sites de coleta

As amostras usadas neste estudo foram coletadas em seis sites em florestas primárias na Amazônia central (CA) e em cinco sites na porção sul da Amazônia brasileira (SA). Os sites na CA foram localizados próximos a Manaus, estado do Amazonas (Nogueira et al., 2005). Quatro sites no SA foram na porção noroeste do estado do Mato Grosso nos municípios de Juruena (2 sites), Cotriguaçu (1 site) e Carlinda (1 site). O quinto site foi localizado na porção sul do estado do Pará no município de Novo Progresso.

Em todos os sites na CA a vegetação predominante é floresta densa com uma altitude média de 100 m acima do nível do mar. No SA a vegetação é classificada como floresta ombrófila aberta a 300 m acima do nível do mar, com lianas ou palmeiras como formas de vida sub-dominantes. Os solos nos sites da CA são latossolos amarelos (acrisolos) que são pobres em nutrientes (Magnago et al., 1978; Yamazaki et al., 1978). Segundo a classificação da FAO, os sites no estado do Mato Grosso estão predominantemente sobre solos do tipo *xanthic* ou *orthic ferralsols* e *ferralsic arenosols*. No site no sul do Pará os solos são predominantemente *orthic acrisols* e *ferralsols* sobre planalto do escudo granítico (FAO, 1988; Sombroek, 2000). Nos sites na CA a média anual de chuva é cerca de 2300 mm. Nos sites no Mato Grosso o clima predominante é tropical úmido com 2075 mm de precipitação anual. A quantidade de chuva na CA é abaixo de 100 mm/mês durante três meses, de Julho a Setembro (Marques-Filho et al., 1981). Nos sites no Mato Grosso há um período seco de seis meses, a partir de Maio a Setembro, com precipitação média mensal abaixo de 100 mm (Brasil, ANA/SIH, 2006). No site no sul do Pará a precipitação média anual é 2280 mm e o período seco estende de Junho a Agosto (Brasil, ANA/SIH, 2006; Oliveira et al., 2004). Na CA a temperatura mensal média é estável durante todo ano em cerca de 26 °C (Marques-Filho et al., 1981). Uma média anual similar é encontrada nos outros sites (Brasil, INMET, 2006).

Coletas de amostras para a determinação da densidade da madeira

As árvores cortadas em cada tipo de floresta foram sempre escolhidas radomicamente mas estratificadas pela classe de tamanho de acordo com a proporção que cada classe contribui para a área basal conforme inventário florestal local. O plano de pesquisa foi autorizado pelo Instituto Brasileiro para o Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e no estado do Mato Grosso pela Secretaria de Meio Ambiente (SEMA/MT). Para a determinação da densidade, discos de espessura constante (~3 cm) foram coletados na altura do peito (mesmo na presença de sapopemas) ou na altura final do toco (site em Juruena), e na altura final do fuste comercial. Para a variação na densidade de madeira ao longo do fuste foram usadas amostras feitas na altura do peito e na altura final do fuste a partir de 307 árvores na CA com DAP 5-122 cm, identificadas em 186 espécies ou morfo-espécies e 235 árvores no SA, DAP 5-104 cm, em 130 espécies ou morfo espécies. Qualquer variação radial na densidade foi incluída por obter um disco inteiro de mesma espessura. A densidade básica da madeira foi determinada para o disco ou para uma cunha obtidas a partir dele. Quando presente, amostras do cerne foram feitas próximas do centro do disco. Em 146 árvores dos sites na CA (DAP 13-106 cm, 112 espécies ou morfo-espécies), amostras de cerne foram feitas somente na altura do peito, enquanto que nos sites no SA (n = 76 árvores, DAP = 9-124 cm, 40 espécies ou morfo-espécies) amostras de cerne foram também feitas nas alturas finais do tronco e do fuste. A massa verde (ou ‘fresca’) e o volume da madeira verde foram determinados no mesmo dia. O volume da madeira verde foi determinado pelo deslocamento da água ao emergir a amostra num recipiente sobre uma balança, também usada na determinação da massa. Neste estudo a massa e o volume da madeira verde não correspondem à madeira completamente saturada com água (Simpson and TenWolde, 1999), mas refere-se à madeira recentemente coletada da árvore. Nas árvores no SA (n = 223; DAP 5-104 cm, 125 espécies ou morfo-espécies) a razão entre a massa verde e a massa após secagem foi utilizada como uma medida do conteúdo de água no fuste (e.g., Borchert, 1994; Schulze et al., 1988). Esta medida foi obtida tanto na base quanto no final do fuste. A massa verde não foi medida nas amostras das árvores coletadas na CA. Para o peso seco de cada amostra uma estufa elétrica foi utilizada a 103 °C (ASTM, 2002). As amostras foram consideradas completamente secas após três medidas consecutivas de peso estável, realizadas em intervalos de cada 24 horas. Para todas as árvores, a densidade básica média do fuste (não ajustada para o afilamento) foi calculada como a média aritmética da densidade na altura do peito (ou no final

do toco para os sites em Juruena) e no final do fuste. A densidade média ajustada para o afilamento não foi determinada nas árvores no SA porque não diferem significativamente da média aritmética (Nogueira et al., 2005). Entretanto, o modelo desenvolvido na floresta densa (CA) testado neste estudo utilizou a densidade média ajustada para o afilamento do fuste como a variável dependente. Neste estudo foi assumido que a média ajustada para afilamento e a média não ajustada também não diferem significativamente em floresta aberta.

Estatística do modelo linear a partir das árvores no sul da Amazônia (SA)

Maior r^2 ajustado e menor erro padrão de estimativa foram os critérios estatísticos para selecionar o melhor modelo que estima a densidade do disco inteiro a partir da densidade do cerne e estima a 'densidade verde' (massa verde/volume verde) a partir da densidade básica (massa seca/volume verde). As relações entre as variáveis foram encontradas serem lineares e os resíduos foram uniformemente e normalmente distribuídos.

Resultados

Variação radial na densidade da madeira

A relação linear entre a densidade do cerne e a densidade do disco inteiro para a floresta densa (CA) e para floresta aberta com palmeiras (SA) tem inclinação similar ($p = 0,441$) mas diferem os interceptos ($p = 0,001$) (Figura 1). O intercepto para a regressão na CA foi 0,146 ($\pm 0,014$ SE, Tabela 2); para o SA foi 0,110 ($\pm 0,022$) (Tabela 3). Apesar de não haver diferença estatisticamente significativa, a Figura 1 indica que as linhas não são paralelas. Claramente os valores são menores para baixa densidade do cerne, mas tendem a convergirem para valores acima de aproximadamente 0,75. Neste caso, o modelo da CA pode ser aplicado no SA, desde que considere as inclinações das retas e seja desconsiderado o valor da constante. Em um *scatterplot* da densidade do cerne contra a densidade do disco inteiro, 63% das amostras do SA ficaram abaixo da linha da regressão para a Amazônia central. A densidade média do disco inteiro de todas as amostras no SA estimadas usando o modelo do SA se distancia por somente 0,4% (diferença = $-0,002 \pm 0,149$ SE), mas é superestimado por 3% usando a regressão da Amazônia central (Modelo 1 na Tabela 2).

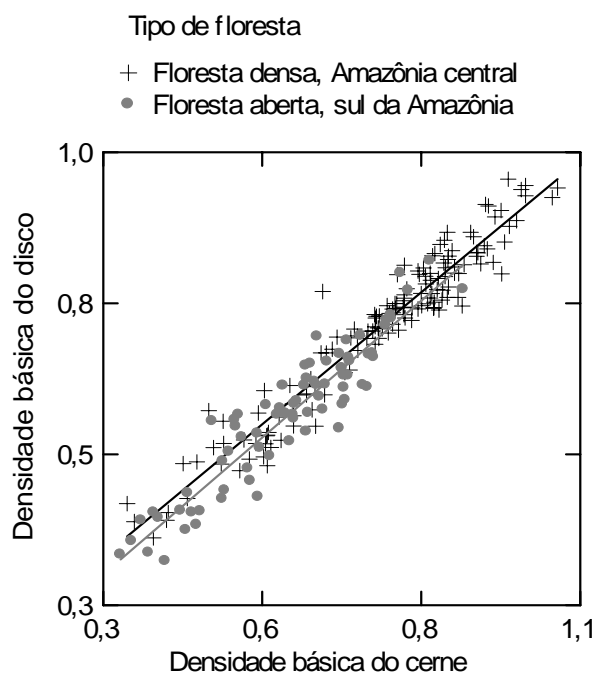


Figura 1. Relação entre a densidade básica do disco inteiro e a densidade básica do cerne em floresta densa na Amazônia central (n = 146 árvores) e em florestas abertas no sul da Amazônia (n = 76 árvores).

Tabela 3. Novas regressões lineares desenvolvidas em florestas abertas no sul da Amazônia (SA) propostas neste estudo.

<i>Descrição do modelo</i>	<i>Estatística da regressão</i>
[Densidade da madeira do disco inteiro] = 0,110 (±0,022) + 0,793 (±0,035) × [Densidade básica do cerne]	Coefficientes ± Erro Padrão; r^2 ajustado = 0,872, Erro padrão de estimativa (SEE) = 0,039, F = 512, n = 76 árvores.
[Densidade básica média do fuste] = -0,143 (±0,034) + 0,728 (±0,033) × [Densidade média da madeira verde do fuste]	r^2 ajustado = 0,680, SEE = 0,064, F = 474, n = 224.
[Densidade básica média do fuste] = -0,076 (±0,036) + 0,654 (±0,035) × [Densidade da madeira verde na altura do peito]	r^2 ajustado = 0,665, SEE = 0,065, F = 359, n = 181 árvores.

A variação radial é indicada por %RV, ou o quanto a densidade do cerne excede a densidade do disco inteiro, expresso como a porcentagem deste último. Uma árvore com %RV negativo tem menor densidade de madeira no cerne que em todo o disco, assim a densidade diminui em direção ao cerne, enquanto valores positivos são encontrados em

árvores com a densidade aumentando em direção ao centro. Em floresta aberta 63% das árvores amostradas com cerne têm densidade de madeira diminuindo para fora, enquanto em floresta densa este foi o caso de 82% das árvores com cerne (veja Nogueira et al., 2005).

O RV percentual foi relacionado ao $\ln(\text{densidade do cerne})$ em ambos os tipos de floresta ($r^2 = 0,506$ em floresta densa e $r^2 = 0,368$ em floresta aberta, ambos $p = 0,000$). Árvores com maior densidade do cerne foram mais leves em direção a fora, enquanto árvores com leve cerne tendem aumentar em densidade em direção para fora (valores negativos para %RV) (Figura 2). Isto é visto ser consistente com uma tendência para árvores leves adicionar madeira mais densa em direção a fora com o seu maior crescimento. No entanto, o relacionamento entre %RV e diâmetro ou altura não suporta esta conclusão. No SA, árvores que diminuem em densidade para fora fazem isto em um maior grau se são mais largas, enquanto árvores que aumentam em densidade para fora não fazem isto em tão maior grau quando elas são mais largas (Tabela 4, Figura 3A, B). Isto sugere que as árvores reforçam a resistência do seu âmago central com seu maior desenvolvimento, ao invés de adicionar uma série de sucessivos cilindros alinhados de madeira mais densa. Nenhuma relação entre tamanho da árvore e %RV foi encontrado na região da CA (Figura 3C, D).

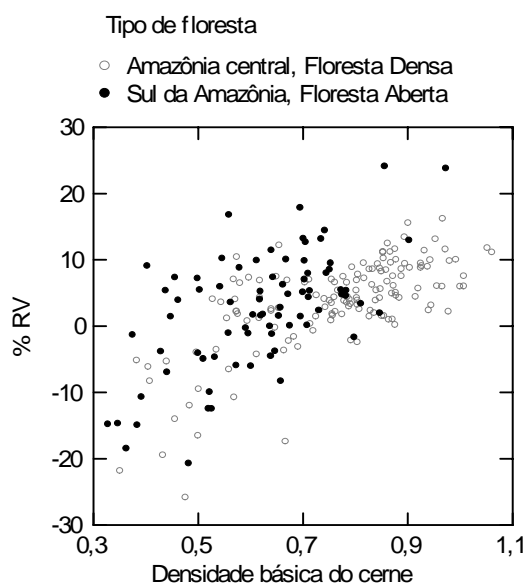


Figura 2. Diferença entre densidade básica do cerne e do disco inteiro (%RV) em floresta densa e aberta.

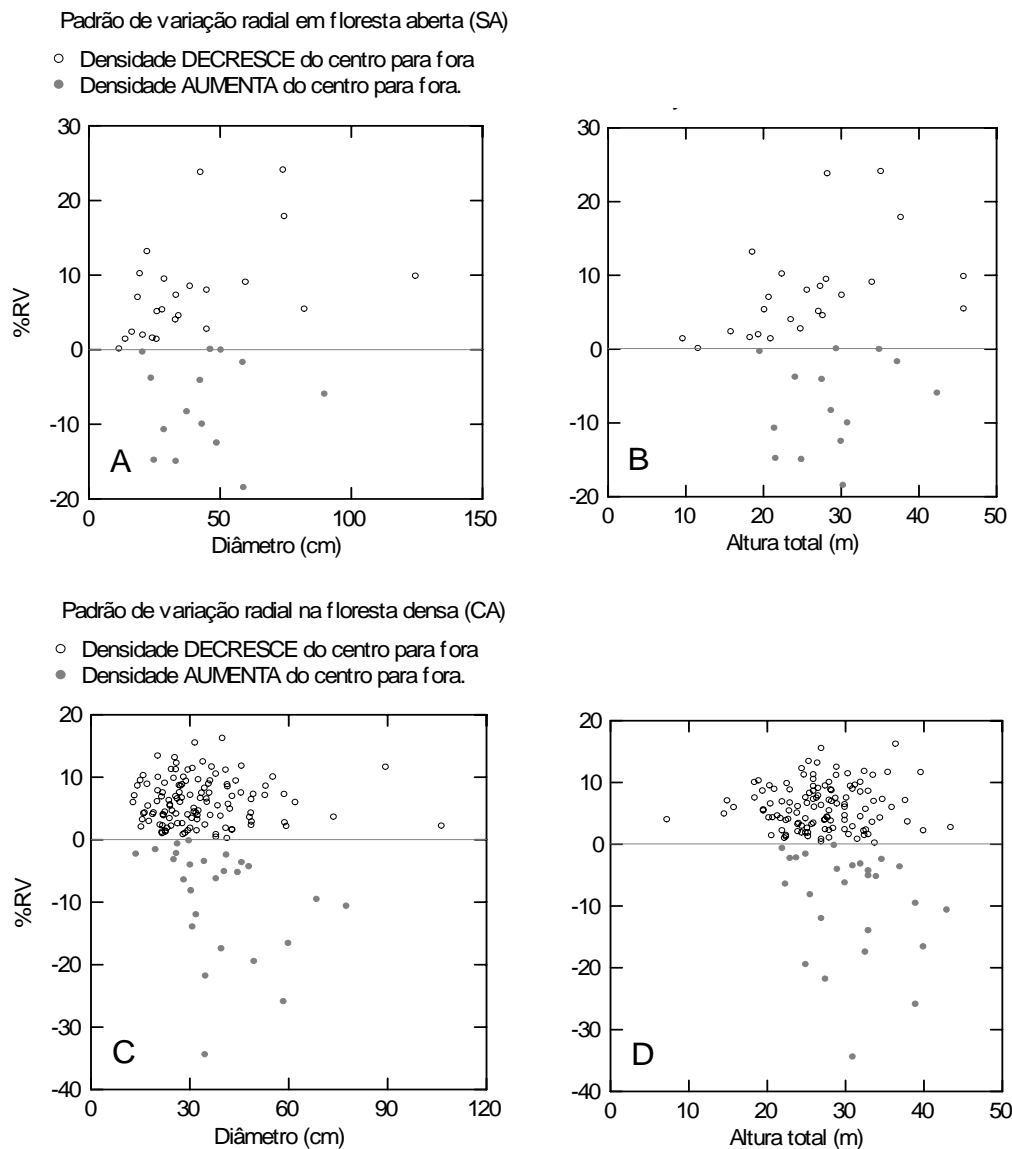


Figura 3. Relacionamento entre diâmetro (na altura do peito ou acima de sapopemas) e altura total de árvores com %RV (significando a diferença entre densidade básica do cerne e aquela do disco inteiro) em floresta aberta no sul da Amazônia (A e B) e em floresta densa na Amazônia central (C e D). Valores positivos de %RV significam que a densidade diminui em direção para fora e valores negativos de %RV significam aumento na densidade média em direção para fora. Para a significância da correlação de Pearson e valores de probabilidade, veja Tabela 4.

Tabela 4. Correlação entre o padrão de variação radial (%RV) na densidade com o diâmetro e a altura total em árvores a partir nos dois tipos de florestas: Floresta densa, Amazônia central e Floresta aberta, no sul da Amazônia.

% RV em árvores a partir de floresta densa e aberta		Diâmetro	Altura total
		correlação de Pearson e (valor de p)*	
Densidade DIMINUINDO para fora	Densa (n=120)	- 0,002 (0,982)	0,053 (0,565)
	Aberta (n = 24)	0,450 (0,027)	0,490 (0,015)
Densidade AUMENTANDO para fora	Densa (n = 26)	- 0,345 (0,084)	- 0,257 (0,204)
	Aberta (n = 14)	0,041 (0,890)	0,214 (0,463)

* Números em negrito são significativamente diferentes ao nível de 5%.

Variação da densidade da madeira ao longo do fuste

Duas regressões lineares (densidade média do fuste \times densidade na altura do peito) não diferiram estatisticamente em comparações pareadas entre floresta densa (CA) e floresta aberta (SA), ($p = 0,144$; $n = 542$), Figura 4. O modelo linear para estimar a densidade média do fuste ajustada para o afilamento a partir do disco na altura do peito (Modelo 3 na Tabela 2) resultou em acurada estimativa da densidade média do fuste: $0,007 (\pm 0,157$ e.p. entre a média estimada e mensurada, ou $\sim 1\%$).

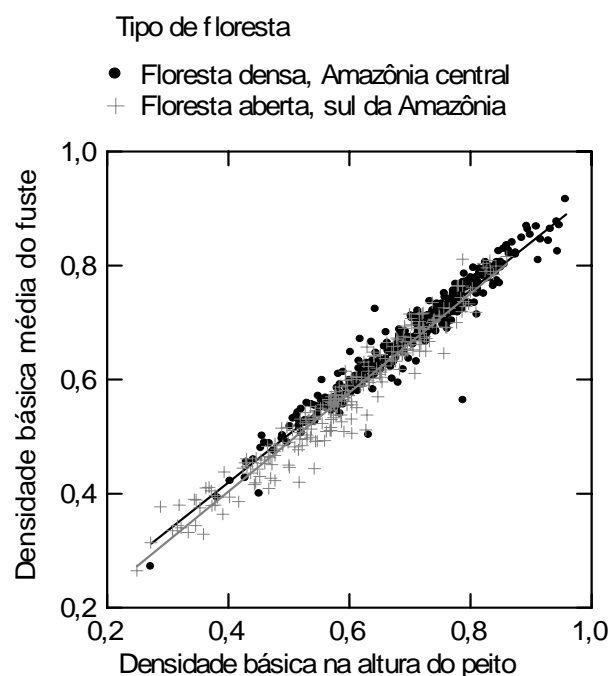


Figura 4. Relação entre a densidade básica média do fuste e a densidade na altura do peito (disco inteiro) em floresta densa na Amazônia central ($n = 307$) e em floresta aberta no sul da Amazônia ($n = 235$).

Conteúdo de umidade

O conteúdo de umidade médio do fuste em 223 árvores no sul da Amazônia foi 0,416 ($\pm 0,068$ d.p.; 95% IC 0,407 – 0,425; extremos 0,246 – 0,595). O conteúdo de umidade do fuste foi inversamente relacionado à densidade básica da madeira (correlação de Pearson = -0,77; $p = 0,000$, $n = 222$) (Figura 5A). Houve uma relação inversa fraca entre o conteúdo de umidade e a densidade da madeira verde ($r = -0,292$, $p = 0,000$; $n = 222$) (Figura 5B). Estes dois resultados são esperados se a densidade do tecido da madeira seca livre de ar varia pouco entre todas as espécies e se árvores com madeira menos densa estocam mais água, mas não muito mais ar, no mesmo volume de madeira verde. O conteúdo de umidade aumenta com a altura ao longo do fuste (teste t pareado, $p = 0,000$; Figura 5C), sugerindo mais conteúdo de umidade nos tecidos mais jovens. A porcentagem de conteúdo de umidade na base do fuste (altura final do toco ou na altura do peito) foi 0,399 ($\pm 0,075$ d.p.; $n = 223$, 95% IC 0,389 – 0,408; extremos 0,22 – 0,67) enquanto que no final do fuste o conteúdo de umidade foi 0,433 ($\pm 0,070$ d.p.; $n = 223$, 95% IC 0,442 – 0,423; extremos 0,18 – 0,65). O conteúdo de umidade do fuste inteiro não foi significativamente relacionado ao diâmetro do fuste na altura do peito ($r = 0,020$; $p = 0,766$, $n = 223$). Duas relações lineares entre ‘densidade verde’ e densidade básica da madeira usando árvores amostradas somente em floresta aberta (SA) são descritas na Tabela 3.

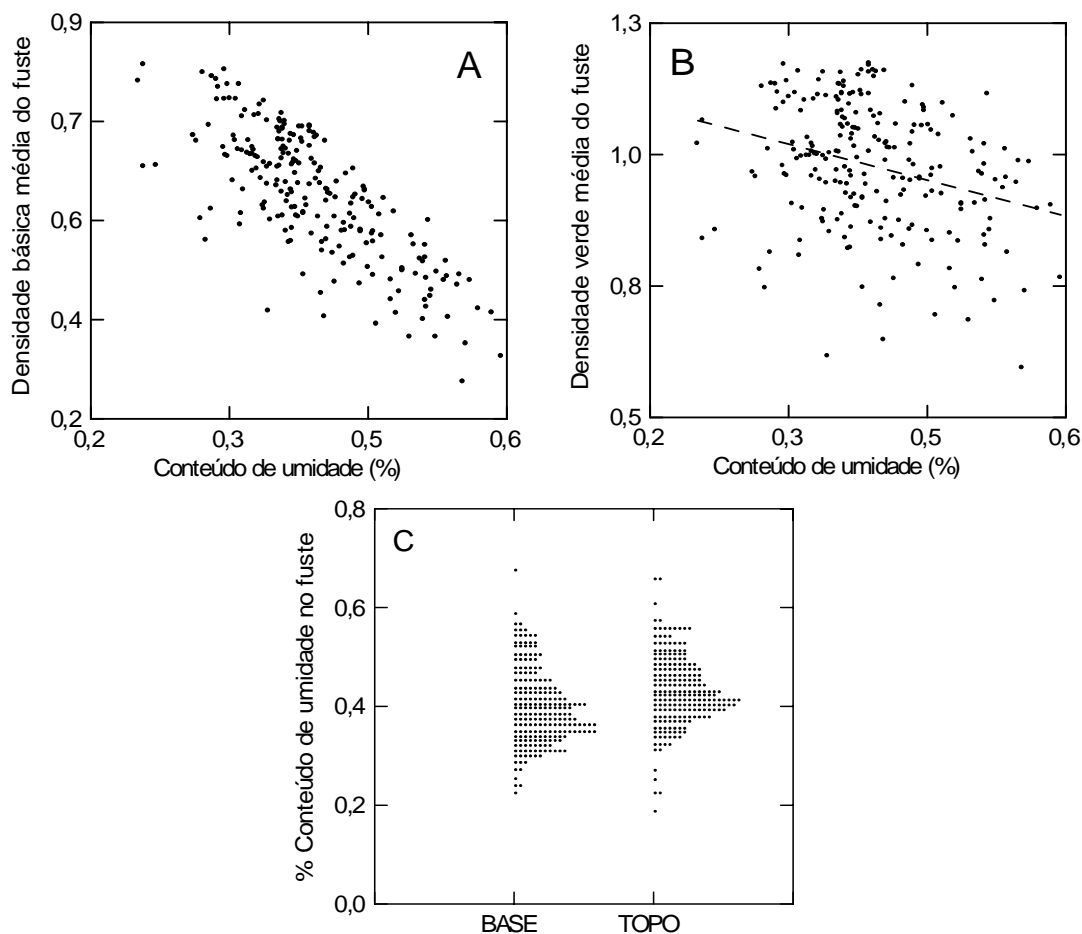


Figura 5. Relação entre o conteúdo de umidade (%) com a densidade básica média da madeira do fuste (A) e, ‘densidade verde’ média do fuste (B). A variação no conteúdo de umidade (%) ao longo do comprimento do fuste é também apresentada (C).

Discussão

Normalização da densidade de madeira para estimativas de biomassa

As relações reportadas neste capítulo para variação radial e variação ao longo do fuste permitem um conjunto de dados de densidade do cerne ou do disco inteiro na altura do peito amostrados em floresta densa e aberta ser convertidos para densidade básica de todo o fuste, que é apropriado para estimativas de biomassa. Floresta densa e aberta são os dois principais tipos submetidos a desmatamento na Amazônia brasileira (Brasil, INPE, 2006).

Embora a variação radial em floresta densa e aberta tenha padrão similar, a regressão desenvolvida na CA (floresta densa) não descreve adequadamente madeiras de leve densidade (Figura 1). Isto resultou em biomassa superestimada em floresta aberta devido à predominância de árvores com densidade leve (Figura 2). A densidade do cerne e do disco inteiro em floresta aberta tende a ser menor que em floresta densa (Figura 1). Embora o viés seja pequeno (~3%) quando a regressão linear da CA é aplicada em floresta aberta, esta percentagem é substancial para o balanço de carbono e pode ser minimizada pelo uso de uma regressão específica para região SA ou utilizar a regressão da CA desprezando a constante. De qualquer modo, uma regressão separada para estimar a densidade do disco inteiro a partir do cerne é descrita para floresta aberta (Tabela 3). Além disso, este capítulo examina somente um tipo de floresta aberta, a qual não tinha distúrbios intrínsecos. Florestas abertas dominadas por bambu semi-escandentes ou por densos entrelaçados de lianas têm muitas aberturas que favorecem árvores de rápido crescimento com madeira leve.

Os resultados (Figura 4) demonstram que uma simples regressão desenvolvida em floresta densa (Tabela 2, Modelo 3) também pode ser aplicada em floresta aberta para corrigir a posição de amostragem ao longo do comprimento do fuste. Isto significa que o padrão de variação ao longo do fuste é similar entre floresta densa e floresta aberta e que uma porcentagem simples pode também ser usada (cerca de 4,3% sobre a média, veja Nogueira et al., 2005, 2007). Viés a partir da variação ao longo do fuste não tem sido corrigido em recentes estimativas em larga-escala de densidade de madeira e pode resultar em substancial superestimativa.

Modelos que estimam a densidade do disco inteiro a partir da densidade conhecida do cerne são necessários para estimativas de biomassa porque há regiões onde somente a densidade do cerne é disponível. Para o oeste da Amazônia dados de densidade de madeira têm sido todos obtidos a partir do cerne (Baker et al. 2004, p. 562, Tabela A1). Estes valores de cerne sem correções são usados por Malhi et al. (2006) para produzir mapas de biomassa. Na Amazônia brasileira muitas medições de densidade de madeira em florestas da Amazônia foram também baseadas no cerne, tais como aquelas do IBDF (Brasil, IBDF, 1981, 1988, 1989) e IBAMA (Brasil, IBAMA, 1997). Embora as correções para os atuais dados de cerne ajudam aperfeiçoar as estimativas de biomassa, é importante considerar que os padrões de densidade radial encontrados neste estudo não são representativos ao nível de comunidades porque eles foram baseados somente em árvores com cerne e portanto não se aplica a todas as

espécies. Além do mais, em florestas abertas o uso de um conjunto de dados baseados somente em cerne pode superestimar a densidade porque espécies leves sem cerne seriam sub-representadas, em contraste com floresta densa, a qual é predominantemente composta de espécies com madeira de densidade média e alta.

Juntos com o conteúdo de umidade, as correções para variação radial e variação ao longo do fuste permitem solucionar quase todos os vieses existentes nos conjuntos de dados previamente publicados, mas ainda resta relacionar a densidade de “*cores*” não afilados com a densidade do disco inteiro. Estas relações são importantes porque a amostragem de madeira utilizando cilindros no interior do fuste (‘*cores*’) é um método prático e não-destrutivo e porque um número de recentes estudos tem usado a perfuração do fuste para amostragem da densidade (*increment borers*) (DeWalt and Chave, 2004; King et al., 2006; Muller-Landau, 2004; Woodcock and Shier, 2003; Woodcock, 2000). Apesar de vários estudos prévios terem obtido a densidade de madeira a partir de *cores* amostrados por *increment borers*, não existem equações para estimar a densidade do disco inteiro usando amostras de *core*.

Variação da densidade radial em árvores de floresta densa e aberta na Amazônia

A ocorrência de árvores com cerne denso é esperado diferir entre tipos de floresta densa e aberta porque a abundância de espécies com densidade de madeira leve ou média é maior em floresta aberta (cerca de 91% em floresta aberta com palmeiras versus 67% em floresta densa), (Nogueira et al., 2005, 2007). Espécies tropicais com leve densidade de madeira habitualmente não têm cerne (e.g. *Cecropia* spp.), e em espécies com menor densidade central há uma tendência para a densidade da madeira ser maior para fora, como demonstrado na Figura 2. Além disso, uma maior percentagem de árvores em floresta aberta tem %RV no intervalo -5% para +5% (Figura 2), e assim demonstraram pouca ou nenhuma tendência radial. Famílias como Bombacaceae, Tiliaceae, Malvaceae, Caricaceae e certos gêneros de Leguminosae geralmente têm madeira leve ou ausência de cerne. Chave et al. (2006) sugerem que florestas do sudoeste da Amazônia também são dominadas por famílias com baixa densidade média da madeira. Espécies de rápido crescimento que são comuns em florestas abertas dominadas por bambu e lianas também podem não ter cerne.

Embora estudos anteriores sugiram que substancial variação radial é predominante em espécies com baixa densidade de madeira, este estudo demonstra que a diferença entre a densidade do cerne e de todo o disco é também alta para espécies com alta densidade de

madeira (Figura 2). Apesar da densidade do cerne e do disco inteiro serem fortemente correlacionados (Figura 1), a Figura 2 indica que quando o cerne é muito denso, o alburno e casca têm uma menor densidade relativa.

Há quatro estratégias possíveis quando a árvore cresce: (1) espécies com densidade uniformemente baixa ao longo do curso do seu desenvolvimento, (2) densidade uniformemente alta, (3) espécies que investem em um cerne central crescentemente mais denso com o seu crescimento e (4) espécies que inicialmente tem menor densidade de modo geral e investe em maior densidade de madeira para fora do fuste no decorrer de seu crescimento. Somente os primeiros três padrões foram detectados neste estudo. Todavia, estudos de espécies pioneiras e de sucessão inicial têm encontrado dramático incremento radial a partir do cilindro central para a casca (Wiemann and Williamson, 1988; 1989; Woodcock and Shier, 2002, 2003).

Em floresta densa, espécies com cerne mais denso são mais abundantes (Figura 2), enquanto que em floresta aberta há muitas espécies com cerne leve. Também, por causa disso a densidade da madeira ao nível de parcelas tende a ser menor em florestas perturbadas ou nos estágios iniciais de desenvolvimento por causa da prevalência de espécies colonizadoras (Suzuki, 1999). Desta maneira a densidade da madeira é um indicador das mudanças na vegetação primária em florestas Amazônicas e é importante para estudos de perda de biomassa em florestas em pé (Laurance et al., 2006). Isto pode ser importante em avaliações das mudanças na biomassa de florestas na Amazônia causadas pelo aquecimento global porque os métodos usados somente são adequados para avaliar incrementos em diâmetro sobre período de anos, mas não mudanças intrínsecas no estoque de biomassa, como aquelas causadas por mudanças na densidade de madeira e outras propriedades da madeira (Bräker, 2001).

Conteúdo de umidade

Os resultados deste estudo sugerem diferenças na estocagem de água nos fustes de árvores na floresta densa (CA) e floresta aberta (SA) que podem ter implicações para estimativa de biomassa em florestas na Amazônia. Na floresta densa o conteúdo de umidade usado por Chambers et al. (2001) para converter biomassa fresca para massa seca na Amazônia central foi 0,38 ($\pm 0,08$ d.p.; n = 50 árvores) para todos os componentes da árvore acima do solo (fuste, galhos, folhas), similar ao valor de 0,39 (somente fuste) adotado por

Higuchi et al. (1998) baseado em 38 árvores ou 0,388 encontrado por Silva (2007) baseado em 128 árvores. A umidade nos fustes em floresta aberta encontrada neste estudo (0,416) difere significativamente do valor encontrado por Higuchi et al. (1998) e por Silva (2007) em floresta densa na Amazônia central ($t = 5,641$, $df = 222$, valor $p < 0,0005$) e difere a partir do valor de 0,38 reportado por Chambers et al. (2001) ($t = 7,847$, valor $p < 0,0005$). Isto sugere que equações alométricas desenvolvidas em floresta densa que estimam a massa fresca somente a partir do diâmetro (como as equações de Chambers et al., 2001 e Higuchi et al., 1998) conduziriam a dois tipos de superestimativas quando aplicadas em floresta aberta. Primeiro, a menor densidade de madeira nas florestas abertas deve ser considerado. Segundo, uma superestimativa adicional de 3-4% ocorreria se a massa fresca é convertida para biomassa seca usando conteúdo de umidade típico de floresta densa. Um exemplo é o estudo de Cummings et al. (2002) que usou o modelo de Higuchi et al. (1998). O aumento na porcentagem do conteúdo de umidade com a altura do fuste (e.g., Figura 5) indica que são necessárias medições do conteúdo de umidade ao longo da altura do fuste a fim de obter a massa seca a partir de medidas da biomassa das árvores (Nelson et al., 1999).

O conteúdo de umidade do fuste depende diretamente da propriedade da madeira porque quando a gravidade específica é alta, o volume do lúmen é baixo e o conteúdo de umidade máxima é restrito (Simpson, 1993; Simpson and TenWolde, 1999). Espécies com menor densidade de madeira tem mais tecido parenquimático e consequentemente maior capacidade de estocar água que espécies mais densas (Figura 5A) (Borchert, 1994; Borchert and Pockman, 2005; Roth, 1981; Schulze et al., 1988; Suzuki, 1999). Por causa disto um maior conteúdo de umidade é esperado nos fustes de árvores em floresta aberta porque há mais espécies de densidade leve que em floresta densa (Nogueira et al., 2005, 2007), que pode ser causada em parte pela duração da estação seca. Embora a explicação ecofisiológica para diferenças no conteúdo de umidade entre diferentes tipos de florestas não é ainda conhecido inteiramente, é largamente reconhecido que a densidade da madeira desempenha um importante papel no status da água na árvore porque a madeira é um importante componente do contínuo solo-planta-atmosfera (Hinckley et al., 1991). Por exemplo, a densidade da madeira é um importante determinante das propriedades de transporte de água no xilema (tais como a condutividade hidráulica específica e a resistência à cavitação do xilema), por meio disso determinando padrões de regulação do balanço de água em toda a planta (Hacke et al., 2001; Meinzer, 2003).

A ausência de um relacionamento entre o conteúdo de umidade e diâmetro do fuste demonstrado neste estudo pode ajudar no entendimento do partionamento da água do solo entre espécies ou classes de tamanho de árvores em floresta tropical sazonal, bem como na presença de raízes profundas (Dawson, 1996; Goldstein et al., 1998; Meinzer, 2003). Diferente de vários estudos prévios, os resultados neste capítulo são representativos ao nível de comunidade porque incluem 125 espécies ou morfo-espécies distribuídas através de um amplo conjunto de tamanho de diâmetros (DAP 5 a 104 cm) e porque o conteúdo de umidade foi obtido a partir de amostras de todos os tecidos no fuste (casca, albúrnio e cerne) mais apropriado que somente a partir amostras do cerne (e.g., Borchert, 1994; Meinzer et al., 1999). Prévios estudos têm desenvolvido equações para determinar a densidade da madeira como uma função do conteúdo de umidade (Simpson, 1993). As duas novas equações desenvolvidas neste estudo são também úteis para estimar o conteúdo de umidade no fuste de árvores. Os novos modelos lineares são também úteis para converter a densidade verde ('fresca') para a densidade básica a partir de amostras feitas na altura do peito ou representativa de todo o fuste (média do fuste). Para a Amazônia brasileira, são escassos dados que são obtidos como densidade verde, mas estas relações são úteis para estudos de conteúdo de umidade nos fustes das árvores. Estas regressões lineares permitem que a densidade básica da madeira seja obtida diretamente no campo, sem o uso de uma estufa alébrica. A aplicação do novo modelo pode ser muito importante em estudos conduzidos em partes remotas da floresta Amazônica.

Conclusão

Apesar da importância de correções no conjunto de dados de densidade do cerne para aperfeiçoar estimativas de biomassa e fluxo de carbono, regressões lineares desenvolvidas em floresta densa não descrevem adequadamente a variação radial nas árvores de floresta aberta, no sul da Amazônia (SA). Regressões de cerne a partir de floresta densa tende a superestimar a densidade média do disco ou a média do fuste em floresta aberta. Entretanto, para correções da variação ao longo do fuste em floresta aberta, a regressão a partir de floresta densa fornece acurada correção da densidade média da madeira. Duas novas regressões descritas neste estudo permitem a densidade básica da madeira ser obtida a partir da densidade verde média do fuste (tanto a partir de amostras feitas na altura do peito ou a partir da média do fuste). As equações podem também ser útil em estudos de estocagem de água em árvores. Em floresta

aberta no sul da Amazônia o conteúdo de umidade do fuste é significativamente maior que em floresta densa na Amazônia central. Para a normalização da densidade da madeira a partir de uma variedade de conjunto de dados uma equação é necessária que diretamente relaciona a densidade de amostras obtidas a partir da madeira do interior da árvore (*'cores'*) feitas com perfurações (*'increment borers'*) para densidade da madeira do disco (cerne, alburno e casca).

Capítulo III - Altura de árvores no ‘arco do desmatamento’ brasileiro: árvores mais baixas no sul e sudoeste da Amazônia implicam em menor biomassa³

Resumo

Este capítulo estima a diferença de estoque de biomassa por área devido as árvores serem mais baixas e mais leves no sudoeste (SW) e no sul da Amazônia (SA) comparado a floresta densa na Amazônia central (CA). As estimativas oficiais de biomassa usadas para estimar a emissão de carbono a partir do desmatamento em toda a Amazônia brasileira tem sido baseadas em relações alométricas obtidas na CA. Assim, as estimativas de emissão seriam afetadas por qualquer diferença entre as florestas na CA e aquelas no ‘arco do desmatamento’ onde estão concentradas as atividades de corte da floresta, ao longo da borda sul da floresta Amazônica. Em 12 sites (nos estados brasileiros do Amazonas, Acre, Mato Grosso e Pará) 763 árvores (DAP = 5 a 124 cm) foram derrubadas e medições foram feitas da altura total e do diâmetro do tronco. Na floresta densa na CA, as árvores são mais altas a um dado diâmetro que as árvores na floresta aberta dominada por bambu no SW, tanto em floresta densa livre de bambu como em florestas abertas no SA. Comparados a CA, os três tipos de floresta no arco do desmatamento ocorrem sobre solos mais férteis, experimentam uma estação seca mais longa e/ou são perturbadas por bambus semi-escandentes que causam freqüentes danos na copa. As relações observadas entre diâmetro e altura foram inconsistentes com as suposições da teoria de ecologia metabólica. Este resultado reforça o argumento que o expoente escalar alométrico (2/3) entre altura e diâmetro varia em florestas sobre diferentes substratos ou com diferentes níveis de perturbações naturais. As reduções na biomassa por área devido somente a menor altura das árvores foram 11,0%, 6,2% e 3,6%, respectivamente, nos três tipos de florestas no arco do desmatamento. Um estudo prévio tem demonstrado que estes tipos de florestas têm a madeira menos densa que floresta densa na CA. Quando os efeitos da altura das árvores e da densidade de madeira foram considerados juntos, a correção total para baixo na estimativa de biomassa por área foram 39%, 22% e 16%, respectivamente. Correções para baixo nestas florestas foram 76 Mg.ha⁻¹ (~ 21,5 Mg.ha⁻¹ para o efeito de altura somente), 65 Mg.ha⁻¹ (18,5 Mg.ha⁻¹ a partir da altura), e 45 Mg.ha⁻¹ (10,3 Mg.ha⁻¹ a partir de altura). Conseqüentemente, o estoque de biomassa e a emissão de carbono são superestimados quando relações alométricas obtidos na floresta densa são aplicadas para tipos de floresta no SW ou SA. As estimativas de biomassa e emissão na Comunicação Nacional Brasileira sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas requerem correções para baixo devido a menor densidade de madeira e altura das árvores.

Palavras-chave:

Alometria; Carbono; Aquecimento global; Emissão de gases de efeito estufa; Floresta tropical; Densidade de madeira.

³ Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M., França, M.B., de Oliveira, A.C.A., 2008. Tree height in Brazil's ‘arc of deforestation’: Shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*. doi:10.1016/j.foreco.2008.02.002

Introdução

Padrões em larga-escala, tais como fisionomia da vegetação, composição florística, *turnover* das árvores, e estoque de biomassa tem sido recentemente descritos para a vegetação Amazônica (Eva et al., 2004; Houghton et al., 2001; Malhi et al., 2006; Phillips et al., 2004; Terborgh and Andresen, 1998; ter Steege et al., 2000, 2006). Classificações convencionais têm geralmente assumido que a região Amazônica tem dois tipos principais de florestas, identificadas como floresta ‘densa’ e ‘aberta’ (Velloso et al., 1991). A floresta densa é mais extensiva (Brasil, IBGE, 1997) e tem a madeira mais densa (Chave et al., 2006; Nogueira et al., 2005, 2007), resultando nesta floresta um maior estoque de biomassa que na floresta aberta (Malhi et al., 2006). A área basal total por hectare tem sido claramente demonstrada ser maior na Amazônia central que na borda sul da região, principalmente devido a diferenças na abundância de pequenas árvores (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006). Enquanto florestas densas estão sobre solos pobres, florestas abertas ocorrem sobre solos mais férteis na porção sul da Amazônia brasileira (Brasil, RadamBrasil, 1973-1983; Brown and Prance, 1987; Malhi et al., 2004; Sombroek, 2000). A radiação solar é mais sazonal e a estação seca é mais longa na floresta aberta, afetando a diversidade de espécies de árvores e a produtividade primária líquida acima do solo (Baker et al., 2004; Chave et al., 2006; Laurance et al., 2006; Malhi et al., 2004; Meinzer et al., 1999, 2001; ter Steege et al., 2003, 2006; Tuomisto et al., 1995).

Dois tipos de florestas abertas perturbadas pela abundância de lianas ou bambu semi-escandentes cobrem 366.000 km² do sul da Amazônia brasileira (Brasil, IBGE, 1997). Recentes aberturas e pequenas áreas de baixa estatura ocuparam 40% de uma floresta dominada por lianas no leste da Amazônia (Gerwing and Farias, 2000). Florestas dominadas por bambu semi-escandentes (*Guadua* spp.) é também largamente compostas de manchas perturbadas. Estas florestas ricas em aberturas mantêm mais espécies de árvores pioneiras de rápido crescimento. Conseqüentemente, a densidade da madeira é menor que em floresta densa vizinha sem trepadeiras (Nelson et al., 2006). Em florestas abertas perturbadas por bambu semi-escandentes ou lianas (Putz et al., 1983; Putz, 1984; Schnitzer et al., 2000; Silveira, 1999), as árvores menores sofrem dano no tronco e perda de altura (Clark and Clark, 2001; Griscom and Ashton, 2006). Na Amazônia Peruana, Griscom and Ashton (2006) encontraram que, na presença da abundante trepadeira *Guadua* spp., árvores 5-29 cm no diâmetro alcançam uma média de altura que foi cerca de 50-55% do que árvores na mesma

classe de tamanho em parcelas vizinhas livres de bambu. Griscom and Ashton (2006) atribuíram esta diferença a danos na copa e no tronco. Árvores maiores que 30 cm de DAP foram na sua maioria além do alcance do bambu e estas demonstraram não haver diferença na altura média entre as parcelas vizinhas com e sem bambu. Em uma floresta aberta dominada por liana na Amazônia boliviana, Alvira et al. (2004) encontraram que grande porcentagem das árvores estavam infestadas em todas as classes de tamanho de DAP; as árvores maiores tendo mais alta frequência e abundância. Árvores com lianas têm mais dano nas copas que árvores sem lianas.

Diferenças na altura total das árvores são também esperadas entre tipos de florestas Amazônicas devido a diferenças nas interações ecológicas, tais como a mortalidade de árvores, desenvolvimento de árvores do sub-bosque, competição e composição florística, as quais afetam os padrões da estrutura vertical e horizontal no dossel da floresta (Griscom and Ashton, 2003; Latham et al., 1998; Laurance et al., 2006; Lugo and Scatena, 1996; Muller-Landau et al., 2006; Weiner and Thomas, 1992). Assim, relações alométricas (tais como o relacionamento entre diâmetro do fuste, altura da árvore, diâmetro da copa e densidade de madeira) seriam úteis para o entendimento da estrutura e dinâmica das florestas tropicais e as interações competitivas entre as espécies de árvores (Bohlman and O'Brien, 2006; O'Brien et al., 1995; Perez, 1970; van Gelder et al., 2006; Weiner and Thomas, 1992). Além disso, o entendimento da variação nos padrões alométricos entre as florestas Amazônicas é provável ser útil para aperfeiçoar a base da teoria do relacionamento escalar universal entre o diâmetro e o tamanho da árvore (Enquist, 1999, 2002; Muller-Landau et al., 2006; Niklas and Spatz, 2004).

A variação na estrutura vertical das florestas pode afetar diretamente o estoque de biomassa. Em floresta de transição (aberta), as árvores podem ser mais baixas a um dado diâmetro quando comparadas a árvores em floresta densa na Amazônia central, e obviamente o caule mais curto de mesmo diâmetro teria menos biomassa. Similarmente, caules com densidade mais leve com o mesmo volume têm menos biomassa.

Recentes estudos de biomassa das florestas Amazônicas aplicaram correções para a densidade da madeira e reconheceram a necessidade de adaptação alométrica para aperfeiçoar as estimativas de biomassa, principalmente na borda sul da Amazônia (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2004, 2006). No entanto, se não são feitas correções para o efeito de altura, a

biomassa seria superestimada por relações alométricas derivadas a partir estudos na Amazônia central. Recentes estudos de densidade de madeira (Nogueira et al., 2007), combinado com apropriado entendimento da estrutura do sul das florestas Amazônicas, pode fornecer substancial discernimento a cerca do impacto das mudanças na cobertura e uso da terra sobre o ciclo global do carbono. Isto porque a borda sul da Amazônia inclui o ‘arco do desmatamento’, que constitui a fonte predominante de emissão de carbono a partir do desmatamento no Brasil. Esta é também a área onde permanecem as maiores incertezas nas estimativas de estoque de carbono (Houghton et al., 2000, 2001; Nepstad et al., 2001; Nogueira et al., 2007).

Neste estudo é avaliado se as árvores nas florestas do sudoeste e sul da Amazônia são mais baixas a um dado diâmetro que na Amazônia central. Também é avaliado se o escalonamento do diâmetro da árvore (D) com a altura total (L) é consistente com as suposições da teoria metabólica ecológica que sugerem uma relação escalar universal $\log L \propto \log D^{2/3}$ (Muller-Landau et al., 2006). Além disso, são convertidas eventuais diferenças na altura total da árvore e densidade de madeira entre tipos de florestas em diferenças na estimativa de biomassa por área.

Materiais e Métodos

Sites de estudo

Em 12 sites na Amazônia brasileira (nos estados do Amazonas, Acre, Mato Grosso e Pará) 763 árvores foram mensuradas (‘diâmetro na altura do peito’, ou DAP = 5 a 124 cm). Seis sites foram próximos a Manaus na Amazônia central (Nogueira et al., 2005) e os outros seis sites foram distribuídos no ‘arco do desmatamento’: dois sites no estado do Acre (floresta aberta dominada por bambu no SW e floresta densa no SW), três sites no noroeste do estado do Mato Grosso e um site na porção sul do estado do Pará (juntos designados como ‘floresta aberta no SA’) (Nogueira et al., 2007). Em cada tipo de floresta, árvores acima de 5 cm DAP foram cortadas e foram feitas medições da altura total, diâmetro (DAP ou acima de sapopemas) e densidade da madeira: 310 árvores em floresta densa na CA, 92 árvores em floresta aberta dominada por bambu no SW, 97 árvores em floresta densa sem bambu no SW e 264 árvores em floresta aberta no SA (neste último tipo de floresta, amostras de densidade de madeira foram feitas de 72% das árvores).

Descrições detalhadas de todos os sites estão disponíveis em Nogueira et al. (2005, 2007). Estes dois estudos prévios focalizaram o efeito da densidade de madeira sobre a biomassa e a estimativa de emissão de carbono baseados em inventários de volume de madeira para toda a Amazônia. No presente estudo o efeito da altura total das árvores, juntamente com dados de densidade de madeira previamente publicados são usados para ajustar as equações alométricas desenvolvidas em florestas bem estudadas na Amazônia central para florestas do sul e sudoeste da Amazônia. Este objetivo é similar a estudos recentes que aplicaram somente adaptações de densidade de madeira para equações alométricas (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006).

Coletas de dados

Em todos os sites, as árvores cortadas foram escolhidas radomicamente, mas estratificadas pela classe de tamanho iniciando com 5 cm DAP, de acordo com a contribuição de cada classe para a área basal conforme inventários locais. Para cada árvore, medições do DAP foram feitas (1,36 m acima do solo nos sites na Amazônia central e 1,30 m acima do solo nos outros sites, ou acima de sapopemas quando presentes em todos os sites), e altura total. O conjunto de dados de densidade de madeira usado neste estudo foi obtido a partir de Nogueira et al. (2005, 2007), onde informações detalhadas são dadas sobre espécimes botânicas e sobre a metodologia utilizada para determinação da densidade da madeira.

Ajuste alométrico

Relação altura \times diâmetro: efeito sobre a biomassa

Os dados obtidos a partir de duas florestas no sudoeste da Amazônia e dados combinados das florestas no sul foram comparados com dados da Amazônia central em regressões pareadas. Os dados para cada par foram agrupados de modo a examinar o efeito do $\ln(\text{diâmetro})$ sobre a altura total das árvores, tipo de floresta e a interação entre $\ln(\text{diâmetro})$ e o tipo de floresta. Se a interação é significativa (inclinações diferentes), as duas regressões em um par são diferentes. Se a interação é não-significante, as duas inclinações são homogêneas e uma análise de co-variância é necessária para testar a diferença entre os dois interceptos. Se os interceptos são diferentes, uma correção de altura pode ainda ser aplicada para a biomassa. Se nem as inclinações nem os interceptos são diferentes, as árvores da floresta teste não são distinguíveis com aquelas da floresta na Amazônia central (Neter and Wasserman, 1974; Sokal

and Rohlf, 1995). Somente o efeito de um tronco mais curto é considerado, incluindo a porção no interior da copa. No tronco está contido 66% da biomassa total da árvore em florestas densas na Amazônia central (Higuchi et al., 1998). Biomassas de galhos, ramos e folhas são presumidas não ser afetadas pela altura reduzida.

Foi assumido que a altura total menor em uma árvore no sul ou sudoeste da Amazônia, quando comparado com uma árvore na Amazônia central com o mesmo diâmetro, traduz em uma redução da biomassa total da árvore. Um fator de correção foi aplicado baseado na razão de duas alturas totais da árvore para um dado diâmetro. A altura total da árvore esperada para um dado diâmetro em cada tipo de floresta foi obtido a partir do relacionamento entre altura total e $\ln(\text{diâmetro})$ nas amostras de calibração (árvores cortadas). Após testar para diferenças de significância, regressões lineares entre estas duas variáveis foram desenvolvidas para cada um dos quatro tipos de floresta neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros de regressões lineares para diferentes tipos de floresta na Amazônia.

Tipos de floresta	Parâmetros* [Altura total = $a + b \ln(\text{diâmetro})$]									
	a ($\pm SE$)	a IC 95%		b ($\pm SE$)	b IC 95%		n	Intervalo DAP	r^2 ajustado	SEE**
Aberta dominada por bambu no SW Amazônia	-16,223 (1,494)	-19,15	-13,29	11,198 (0,464)	10,29	12,11	91	5 - 85	0,866	3,577
Floresta densa no SW Amazônia	-12,068 (1,883)	-15,81	-8,33	10,672 (0,553)	9,59	11,76	97	5 - 106	0,794	4,185
Floresta densa na Amazônia central	-11,168 (0,793)	-12,72	-9,61	11,210 (0,254)	10,71	11,71	307	5 - 106	0,864	2,691
Floresta aberta no sul da Amazônia	-10,678 (0,637)	-11,93	-9,43	10,581 (0,233)	10,12	11,04	264	5 - 124	0,887	2,454

*Todos os parâmetros são significantes para um valor de $p = 0,0001$. Três *outliers* foram excluídos na floresta da Amazônia central, dois na floresta no sul da Amazônia e um na floresta dominada por bambu no SW. Para identificação dos *outliers*, os resíduos pela distribuição de *Student* ('studentizados'; para identificar *outliers* no espaço y) foram plotados contra *leverage* (para identificar *outliers* no espaço x) e a '*Distância de Cook*' foi calculada. A '*Distância de Cook*' indica a influência de cada amostra observada sobre o coeficiente de estimativa (Cook and Weisberg, 1982; Wilkinson, 1990).

**Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{Quadrado Médio do Resíduo}}$

Densidade de madeira: efeito sobre a biomassa

Análises prévias de dados de densidade de madeira para quatro tipos de floresta (Nogueira et al., 2005, 2007) demonstraram que os fustes das árvores são mais densas na Amazônia central que nos outros três tipos de florestas ($p = 0,0001$, post-hoc Bonferroni). A densidade da madeira é maior em floresta densa na Amazônia central, menor em floresta dominada por bambu no sudoeste da Amazônia, e tem valor intermediário em floresta densa no sudoeste da Amazônia sem bambu e em floresta aberta no sul da Amazônia. Como não houve nenhuma tendência para aumentar ou diminuir a densidade em função do DAP dentro de qualquer dos quatro tipos de floresta (Nogueira et al., 2005, 2007), um simples fator de correção pode ser aplicado para cada floresta para calcular o efeito da densidade de madeira sobre a biomassa, independente do DAP, ou numa base árvore-por-árvore ou para a biomassa de árvore total por hectare. O fator de correção foi multiplicado pelo peso seco da biomassa das árvores estimados usando alometria de floresta densa na Amazônia central (Higuchi et al. 1998), na mesma forma como descrito acima para o efeito de altura. O fator de correção é a razão de $W_s : W_c$; onde W_s = densidade média da madeira na altura do peito em florestas no sul ou sudoeste da Amazônia e W_c = densidade média da madeira na altura do peito em floresta densa na Amazônia central.

Resultados

Relação diâmetro \times altura: árvores no sul e sudoeste da Amazônia tendem a ser mais baixas que árvores de mesmo diâmetro na Amazônia central

A relação entre altura total e $\ln(\text{diâmetro})$ das árvores são demonstradas em três regressões pareadas (Figura 1). Em todos os três pares o efeito da interação foi insignificante ($p = 0,922$, $p = 0,438$ e $p = 0,818$), significando que as inclinações são homogêneas dentro de cada par. Análise de co-variância da altura total da árvore usando o tipo de floresta como o fator categórico e $\ln(\text{diâmetro})$ como a co-variável contínua, demonstram que os interceptos das três florestas no arco do desmatamento são diferentes das florestas da Amazônia central (ANCOVA $p < 0,001$). Portanto, em todos os três tipos de floresta do sul e sudoeste da Amazônia, árvores para um dado diâmetro tendem a ser mais baixas que árvores de mesmo diâmetro na Amazônia central.

A fim de expressar o efeito da altura total como diferença de biomassa entre os tipos de floresta, a biomassa das árvores foi estimada utilizando somente o DAP (ou diâmetro

acima de sapopemas quando estas estruturas estão presentes) a partir da regressão de Higuchi et al. (1998), que foi desenvolvida para a Amazônia central. Isto gera a estimativa de biomassa B_1 para cada árvore. Se B_2 é a biomassa total da árvore em qualquer outro tipo de floresta após correção somente para o efeito de altura, e C_m é um fator multiplicativo da correção, tal que $B_2 = B_1 \times C_m$, então sob as suposições mencionadas nos métodos, pode ser demonstrado que $C_m = 0,66 (H_{1d}/H_{2d}) + 0,34$; onde H_{1d} = a altura esperada no sul ou sudoeste da floresta Amazônica, ao diâmetro d ; e H_{2d} = altura esperada em floresta densa na Amazônia central, ao mesmo diâmetro d . As alturas esperadas são obtidas a partir de regressões lineares demonstradas na Figura 1. O relacionamento entre $\ln(\text{diâmetro})$ e C_m é demonstrado na Figura 2 para cada floresta do SW da Amazônia e para florestas do sul da Amazônia. Correções para baixo da biomassa são maiores para árvores com menores diâmetros e para floresta dominada por bambu. Considerando somente o efeito da menor altura das árvores para um dado diâmetro, a biomassa estimada por área (árvores e palmeiras ≥ 5 cm DAP) é menor que na Amazônia central por 11% em floresta aberta com bambu no SW da Amazônia, 6,2% na floresta densa no SW da Amazônia, e 3,6% nas florestas abertas no sul da Amazônia.

De modo geral, o expoente escalar $2/3$ predito pela teoria de ecologia metabólica foi violado por árvores maiores nas quatro florestas Amazônicas estudadas. Quando consideradas árvores de todos os tamanhos, o expoente escalar encontrado entre $\log_{10}(\text{diâmetro})$ e $\log_{10}(\text{altura total})$ para três tipos de florestas foram significativamente menor que os valores de $2/3$ predito pela teoria metabólica ecológica. A exceção foi a floresta dominada por bambu no SW, as quais incluem o valor de $2/3$ no intervalo de confiança de 95% (Tabela 2). Para árvores pequenas (DAP < 20 cm), o expoente escalar foi significativamente maior que $2/3$ na floresta densa no SW, e não foi significativamente diferente de $2/3$ nos outros tipos de floresta. Estes resultados reforçam o argumento que o expoente escalar alométrico varia em florestas com diferentes recursos ambientais ou diferentes regimes de perturbação.

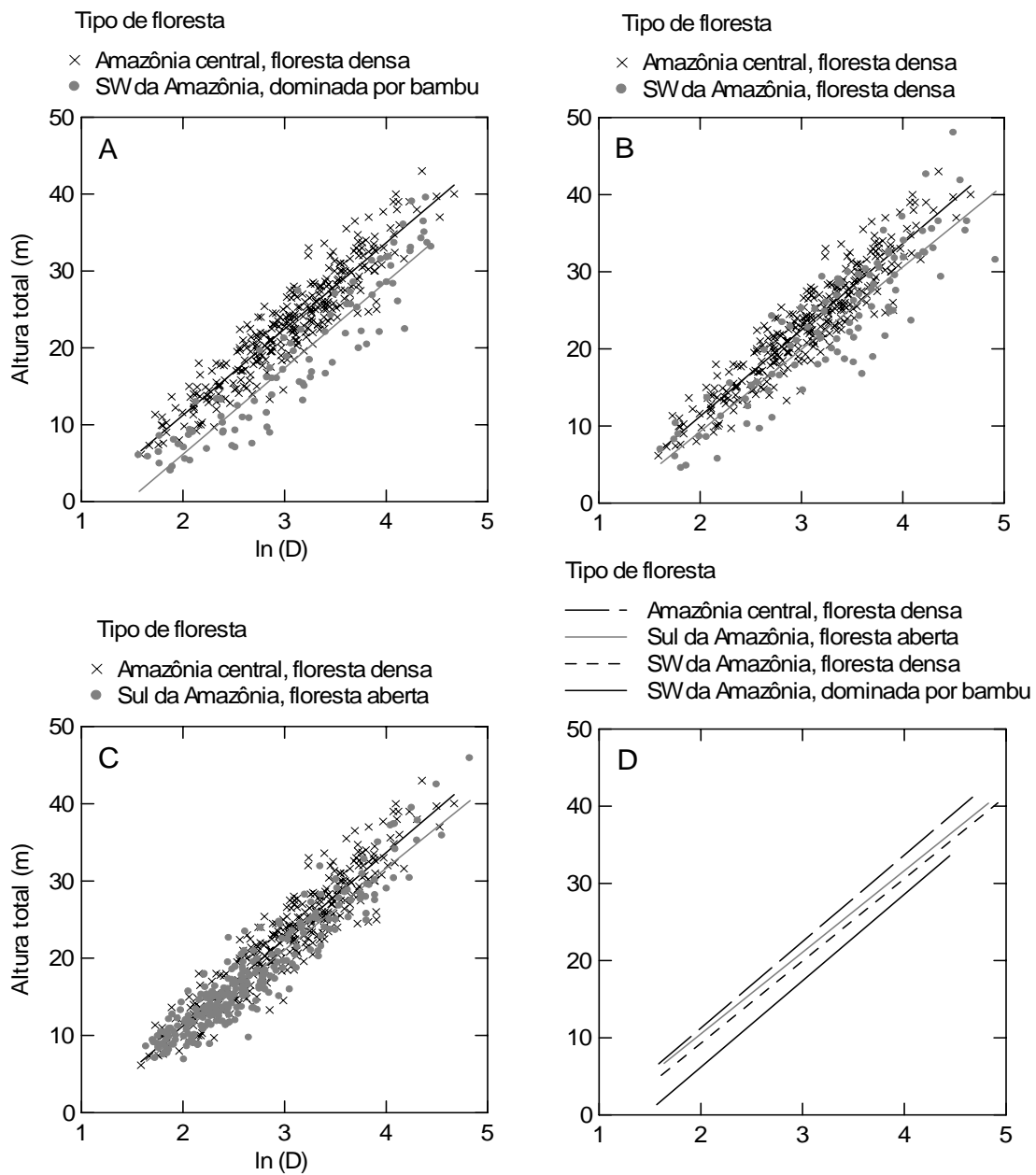


Figura 1. Regressões pareadas entre $\ln(\text{diâmetro})$ versus altura total da árvore, comparadas entre floresta densa na Amazônia central (símbolo \times , preto), com duas florestas no SW da Amazônia e uma floresta no sul da Amazônia (círculo sólido, cinza). **A:** Floresta aberta no SW dominada por bambu, **B:** Floresta densa no SW da Amazônia, **C:** Floresta aberta no sul da Amazônia. **D:** $\ln(\text{diâmetro})$ versus altura total (m) para todos os quatro tipos de floresta.

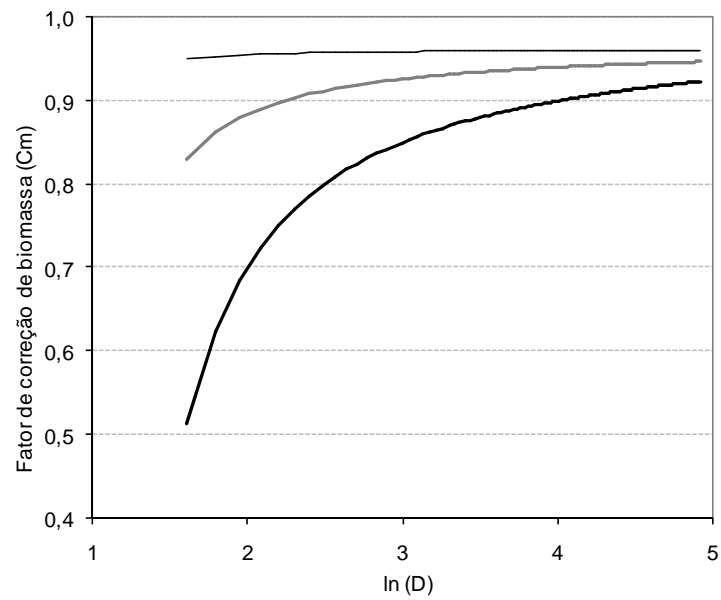


Figura 2. Fator de correção de biomassa (C_m) para o efeito de menor altura do caule nas três florestas teste comparadas com a floresta densa na Amazônia central. A linha superior representa os valores para floresta aberta no sul da Amazônia, a linha intermediária para floresta densa no SW da Amazônia e a linha mais baixa para floresta aberta dominada por bambu. D = diâmetro em centímetros.

Tabela 2. Parâmetros da relação linear ajustada entre \log_{10} (diâmetro do fuste) com \log_{10} (altura total da árvore) para diferentes tipos de florestas Amazônicas, incluindo árvores de todos os tamanhos, diâmetro <20 cm e árvores com diâmetro do fuste ≥ 20 cm. Valores em negrito destacam as inclinações das regressões.

Tipos de floresta	Parâmetros [$\log_{10}(\text{altura total}) = a + b \log_{10}(\text{diâmetro})$]						
	<i>a</i> (\pm SE)	IC 95%	<i>b</i> (\pm SE)	IC 95%	n	Adjustado r ²	SEE*
Todas as árvores							
Densa (Amazônia Central)	0,625 (0,018)	0,590 - 0,661	0,538 (0,013)	0,511 - 0,564	307	0,842	0,061
Aberta (Sul da Amazônia)	0,564 (0,017)	0,530 - 0,597	0,558 (0,014)	0,530 - 0,586	264	0,851	0,066
Densa (SW Amazônia)	0,494 (0,045)	0,404 - 0,584	0,576 (0,031)	0,515 - 0,637	97	0,788	0,101
Aberta dominada por bambu (SW Amazônia)	0,276 (0,040)	0,197 - 0,354	0,685 (0,028)	0,628 - 0,741	91	0,867	0,095
Árvores <20 cm de diâmetro							
Densa (Amazônia Central)	0,428 (0,042)	0,346 - 0,510	0,719 (0,038)	0,645 - 0,794	135	0,729	0,067
Aberta (Sul da Amazônia)	0,448 (0,034)	0,381 - 0,515	0,673 (0,033)	0,608 - 0,737	199	0,678	0,068
Densa (SW Amazônia)	0,134 (0,124)**	-0,106 - 0,374	0,919 (0,119)	0,689 - 1,149	30	0,680	0,119
Aberta dominada por bambu (SW Amazônia)	0,213 (0,106)***	0,007 - 0,419	0,737 (0,102)	0,538 - 0,935	41	0,573	0,114
Árvores ≥ 20 cm de diâmetro							
Densa (Amazônia Central)	0,842 (0,035)	0,774 - 0,911	0,394 (0,023)	0,350 - 0,439	172	0,636	0,046
Aberta (Sul da Amazônia)	0,767 (0,050)	0,671 - 0,863	0,424 (0,032)	0,363 - 0,485	65	0,741	0,047
Densa (SW Amazônia)	0,817 (0,078)	0,663 - 0,971	0,379 (0,048)	0,285 - 0,473	67	0,491	0,074
Aberta dominada por bambu (SW Amazônia)	0,547 (0,086)	0,378 - 0,716	0,522 (0,053)	0,419 - 0,625	50	0,672	0,071

*Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{Quadrado Médio do Resíduo}}$

** O valor do parâmetro não foi significativo ao nível de 5%. Outros valores de parâmetros (não marcados) são todos significantes ao nível de 0,1%.

*** $p = 0,051$.

Efeitos sobre a biomassa devido a diferenças de densidade de madeira entre árvores no sul e sudoeste da Amazônia e árvores na Amazônia central.

Baseado em médias previamente reportadas de densidade de madeira por tipo de floresta (Nogueira et al., 2005, 2007) foi estimada a diferença de densidade da madeira esperada entre a Amazônia central e os três outros tipos de floresta (Tabela 3). Foi assumido que a média da densidade da madeira para a árvore inteira varia em proporção direta com a densidade na altura do peito. O intervalo de confiança indica uma redução de 23-33% da biomassa para árvores (≥ 5 cm dbh) na floresta aberta dominada por bambu, 11-20% de redução da biomassa para árvores em floresta densa sem bambu e redução de 9-15% na biomassa para árvores em floresta aberta no sul da Amazônia. Se somente a correção para densidade de madeira é aplicada, a redução da biomassa estimada por parcela para os três tipos de floresta seria 28%, 16% e 13%, respectivamente.

Diferença na biomassa devido a altura e a densidade de madeira

Devido a menor altura e a madeira mais leve, o estoque de biomassa em árvores e palmeiras (≥ 5 cm DAP) foram menores em floresta aberta dominada por bambu no SW da Amazônia, em floresta densa no SW da Amazônia e em floresta aberta no sul da Amazônia, (Figura 3, Tabela 4) que o predito pelo modelo da Amazônia central sem correção, respectivamente, 76, 65 e 45 Mg/ha⁻¹ (peso seco). Considerando somente o efeito da altura, a redução da biomassa estimada para estas florestas foram 21,5, 18,5 e 10,3 Mg/ha⁻¹. O efeito da menor densidade da madeira sobre as estimativas de biomassa é maior que o efeito da altura da árvore em todos os três tipos de florestas nas regiões sul e sudoeste da Amazônia (Figura 3). Estes resultados sugerem que a biomassa por hectare é substancialmente superestimada pelo modelo da Amazônia central quando aplicado para o sul ou sudoeste da Amazônia sem correções. Embora a correção aplicada faça sentido lógico, é necessário enfatizar que a estimativa de biomassa não tem sido ainda validada por novas relações alométricas determinadas por corte e pesagem das árvores em parcelas teste no sul ou sudoeste da Amazônia.

Tabela 3. Densidade da madeira na altura do peito (peso seco a 80 °C/volume verde com casca) em quatro tipos de florestas Amazônicas^a

Tipos de floresta	Tamanho de amostra (árvores ≥ 5 cm DAP)	Média da densidade básica na altura do peito	Desvio padrão	Fator de correção de biomassa (± 2 erros padrões de razão de médias) ^b
Densa na Amazônia central	310	0,712 (0,704)	0,119 (0,117)	---
Aberta dominada por bambu no SW da Amazônia	92	0,512	0,176	0,718 \pm 0,0534
Densa no SW da Amazônia	97	0,600	0,160	0,843 \pm 0,0482
Aberta no sul da Amazônia	191	(0,618)	(0,125)	0,877 \pm 0,0306

^a Valores entre parênteses são pesos secos a 103 °C. O fator de correção da biomassa é a razão entre a densidade média da madeira em um dado tipo de floresta e a densidade média da madeira na Amazônia central.

^b Erro padrão para uma razão de duas estimativas (Ott and Longnecker, 2001).

Tabela 4. Efeito das correções para altura total e densidade da madeira sobre a estimativa de biomassa por hectare^a.

Tipos de floresta	Biomassa estimada usando equação alométrica da Amazônia central	Biomassa corrigida para a diferença de altura e densidade da madeira	% Diferença
Aberta dominada por bambu no SW da Amazônia	194 \pm 36,8	118 \pm 23,4	39%
Densa no SW da Amazônia	297 \pm 21,6	232 \pm 17	22%
Aberta no sul da Amazônia	285	240	16%

^a Para os dois tipos de floresta no SW da Amazônia, médias \pm 1 desv. padrão (n = 10) são dados para árvores e palmeiras ≥ 5 cm DAP (ou acima de sapopemas). No sul da Amazônia as estimativas de biomassa foram obtidas a partir do número médio de árvores para cada classe de diâmetro (intervalo de 5-cm) estimadas a partir de 11 ha onde árvores ≥ 10 cm de diâmetro foram inventariadas por Feldpausch et al. (2005) e 30 ha onde árvores com diâmetro ≥ 5 cm foram inventariadas por Pereira et al. (2005).

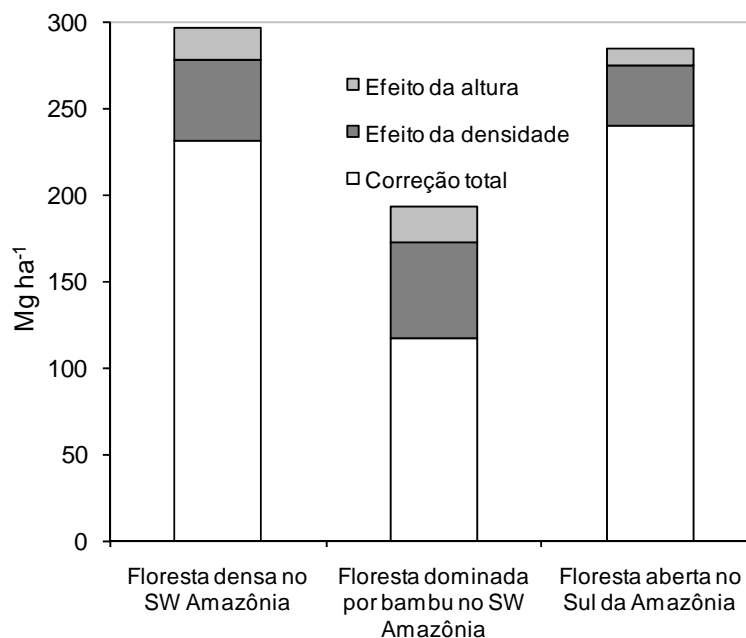


Figura 3. Biomassa por área para árvores + palmeiras ≥ 5 cm DAP (ou acima de sapopemas) no SW da Amazônia ajustada para baixo em 39% (floresta aberta, no SW da Amazônia, dominada por bambu), 22% (floresta densa no SW da Amazônia), e por 16% (floresta aberta no sul da Amazônia) após correções para menor densidade da madeira e menor altura das árvores quando comparado estes atributos na floresta densa na Amazônia central.

Discussão

Este estudo assume que não há diferença na biomassa das copas para árvores de igual diâmetro entre a floresta densa na Amazônia central e os três tipos de florestas estudados no sudoeste e sul da Amazônia. Esta pode ser uma suposição conservadora. Danos nas copas são mais prevalentes em árvores infestadas por abundantes bambus semi-escandentes ou lianas (Alvira et al., 2004; Griscom and Ashton, 2006) em dois difundidos tipos de floresta aberta do S e SW da Amazônia. Na ilha do Barro Colorado, Panamá, Bohlman and O'Brien (2006) encontraram que espécies de clareira têm menores copas que espécies de sombra. Espécies de clareira são mais prevalentes em florestas abertas na Amazônia, enquanto que espécies de sombra são mais prevalentes em florestas densas.

A variação da estrutura da vegetação a meso-escala (i.e. ao longo de uma distância geográfica de 1 - 10^3 km) e as concorrentes mudanças da forma da árvore são adaptações às condições físicas, químicas e ecológicas de cada local (Rozendaal et al., 2006). Neste sentido,

os resultados deste capítulo (Figura 1 e Tabela 2) concordam com recentes modelos demonstrando que o relacionamento escalar entre o comprimento da planta, o diâmetro, e a massa são flexíveis, isto é, eles podem variar através de espécies devido a diferenças espécies-específicas no padrão de partionamento da biomassa e respostas ecológicas às diferentes condições ambientais (Muller-Landau et al., 2006; Niklas and Spatz, 2004). No entanto, este conhecimento é limitado quanto aos principais fatores que afetam as relações alométricas em florestas tropicais sob diferentes condições ambientais (Malhi et al., 2006).

Recente modelo escalar universal tem relacionado traços funcionais à água e aumento de biomassa com o tamanho da planta, arquitetura e alometria (Meinzer, 2003; Niklas and Enquist, 2001; Niklas and Spatz, 2004; West et al., 1999). Por exemplo, é esperado que a altura da árvore por unidade de área basal seja reduzida com o aumento do comprimento da estação seca (Malhi et al., 2006; Meinzer, 2003; Meinzer et al., 2001). Por causa disto, árvores seriam mais baixas a um dado diâmetro em florestas tropicais sazonais secas. Isto pode contribuir para uma menor altura total das árvores em florestas não-perturbadas no sul da Amazônia, onde a maioria dos locais de coleta deste estudo tem um período seco ligeiramente mais longo (precipitação mensal <100 mm) que a floresta densa na Amazônia central (Brazil, ANA, 2006).

Florestas do sul da Amazônia sob uma estação seca mais longa são também esperadas ter maior abundância de lianas (as quais causam dano na copa e provavelmente menor altura das árvores). Mais lianas são esperadas porque lianas podem competir melhor para acessar a água durante a estação seca (Mascaro et al., 2004; Restom and Nepstad, 2004) e porque a intensidade de luz aumenta abaixo do dossel de árvores sazonalmente decíduas (Gentry, 1991; Rice et al., 2004). Florestas amazônicas dominadas por bambu podem estar associadas com clima mais seco e com o substrato. No pico da estação seca no leste do estado do Acre, *Guadua* semi-escandentes permanecem sempre verdes mesmo no período em que muitas espécies de árvores caem suas folhas. *Guadua* pode portanto ter uma vantagem competitiva em locais com longa estação seca. Dentro da Amazônia, densas populações de *Guadua* semi-escandentes misturadas na floresta são largamente restritas a uma superfície de terra-firme em terras baixas, peculiar às cabeceiras do barrento rio Purus e rio Juruá. Nessa região a modesta elevação tectônica e a erosão mecânica têm exposto sazonalmente argilas impermeáveis ricas em cátions (Nelson et al., 2006).

Enquanto algumas prévias estimativas do estoque de carbono em toda a bacia Amazônica têm feito correção para a densidade da madeira, não têm sido feitos ajustes para diferenças alométricas para altura de árvores ou dano nas copas (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006). Equações alométricas disponíveis para as estimativas de biomassa em floresta tropical incluem altura e a densidade de madeira como variáveis independentes (Brown et al., 1989; Overman et al., 1994). Mas não existem modelos que têm sido validados usando dados de biomassa de árvores obtidos diretamente a partir de experimentos destrutivos conduzidos nas florestas no sudoeste ou sul da Amazônia. Comparando prévias estimativas de biomassa a partir de equações alométricas com os resultados do presente estudo sugere-se que o estoque de carbono e a biomassa têm sido superestimados para o sul da Amazônia (e.g. Alves et al., 1997; Feldspausch et al., 2005). Algumas estimativas de biomassa de árvores no ‘arco do desmatamento’ na Amazônia (Cummings et al., 2002) e em sites de floresta aberta onde lianas é a forma de vida dominante (Gerwing and Farias, 2000) têm empregado relações alométricas designadas para floresta densa sobre solos inférteis. Estas podem portanto superestimar a biomassa acima do solo das árvores e a emissão de gases de efeito-estufa na parte da Amazônia onde muito do desmatamento está ocorrendo. A Comunicação Nacional Brasileira sob a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (Brazil, MCT, 2004) estima a biomassa para toda a Amazônia brasileira a partir de relações alométricas da Amazônia central obtidas por Higuchi et al. (1998) aplicadas para dados de diâmetro de árvores a partir dos levantamentos do RadamBrasil sem correções para densidade ou altura das árvores.

Apesar de recentes estudos reportarem a variação espacial da densidade da madeira para a Amazônia (Baker et al. 2004; Chave et al., 2006; Nogueira et al., 2007), o principal fator ambiental que explica a variação espacial na densidade ainda não é claro. Diferenças ambientais e na densidade da madeira entre o sul, sudoeste e a região central da Amazônia têm sido discutidas por recentes estudos (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006; Nogueira et al., 2007). De modo geral, as principais causas sugeridas para explicar a menor densidade da madeira por área nas florestas do sudoeste e sul da Amazônia estão relacionados à composição florística, dinâmicas de sucessão, fatores edáficos e princípios fisiológicos no uso da água. A relação entre a variação na densidade da madeira e fatores ambientais têm sido particularmente difícil de avaliar devido a uma variedade de estudos que tem utilizado diferentes métodos de amostragem (Fearnside, 1997; Nogueira et al., 2005, 2007). Os

resultados deste estudo sugerem que as respostas plásticas das árvores para mudanças ambientais são mais intensas para a densidade da madeira que para a altura da árvore. Assumindo que a taxa de crescimento é inversamente proporcional a densidade da madeira (Enquist et al., 1999; King et al., 2005; Muller-Landau, 2004), a resposta plástica e conseqüentemente os recursos alocados para a altura da árvore seriam ao menos parcialmente dependente de traços da densidade da madeira. O efeito das condições ambientais sobre a altura das árvores seria portanto mais fraco que o efeito sobre a densidade da madeira. Como as florestas no sul da Amazônia são mais dinâmicas que aquelas da Amazônia central (Malhi et al., 2006), árvores mais curtas são logicamente esperadas apesar da menor densidade de madeira.

Conclusão

No sudoeste da Amazônia, em floresta aberta dominada por bambu e floresta densa sem bambu, e em florestas abertas no sul da Amazônia, as árvores são mais baixas que em floresta densa na Amazônia central. A diferença de altura foi maior para pequenas árvores. De modo geral, o expoente escalar de 2/3 predito pela teoria metabólica ecológica foi violado por árvores grandes nas quatro florestas estudadas. Quando a equação de Higuchi et al. (1998), que foi desenvolvida em floresta densa, é aplicada para estimativas de biomassa em florestas abertas do sul e sudoeste da Amazônia, os resultados devem ser corrigidos para efeitos de altura das árvores e menor densidade de madeira. Juntos, os dois efeitos representam uma redução total de 39% em floresta aberta dominada por bambu, 22% em floresta densa sem bambu (ambas no sudoeste da Amazônia) e 16% em floresta aberta no sul da Amazônia (respectivamente, 76, 65 e 45 Mg ha⁻¹ a menos de biomassa seca que a floresta densa na Amazônia central). Considerando somente o efeito de altura, a biomassa estimada é reduzida por 21,5, 18,5 e 10,3 Mg ha⁻¹, respectivamente, no sudoeste da Amazônia em floresta dominada por bambu, em floresta densa também no sudoeste da Amazônia e em floresta aberta no sul da Amazônia. Revisões são necessárias nas estimativas de biomassa que têm sido feitas usando equações alométricas desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central. Isto implica em menor emissão de gases de efeito estufa do que previamente estabelecido para o desmatamento na Amazônia brasileira, o qual está concentrado em tipos de florestas não-densas no ‘arco do desmatamento’ tais como as mencionadas neste estudo.

Capítulo IV – Estimativas de biomassa da floresta na Amazônia brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa a partir de inventários de volume de madeira⁴

Resumo

Incertezas nas estimativas de biomassa nas florestas Amazônicas resultam em uma gama de possíveis magnitudes de emissões de carbono por desmatamento e mudanças de uso da terra. Neste capítulo é apresentada uma nova equação de biomassa desenvolvida a partir de árvores pesadas diretamente em florestas abertas sobre solos férteis no sul da Amazônia (SA), bem como equações alométricas para estimativa do volume do fuste em floresta densa e aberta. Foram obtidas estimativas de biomassa a partir das novas equações que foram utilizadas para aperfeiçoar o modelo de biomassa comumente usado o qual é baseado em inventários de volume de madeira em larga-escala conduzidos em toda a Amazônia. As estimativas de biomassa a partir da equação alométrica no SA indicam que equações desenvolvidas em florestas sobre solos inférteis na Amazônia central (CA) resultam em superestimativa se aplicadas para árvores em florestas abertas do SA. Foram cortados e pesados todos os componentes acima do solo de 267 árvores em florestas abertas do SA e encontrado que a proporção de biomassa estocada nas copas das árvores em floresta aberta é maior que em floresta densa. Para estimativas de volume de madeira é demonstrado que equações para volume do fuste é um meio alternativo para evitar erros nas estimativas de volume do fuste devido a medições de altura, afilamento e irregularidades ou ocos. No caso do volume de madeira inventariado foram aplicadas correções para irregularidades e troncos ocos e verificado que não é necessário ajustes para o fator de forma adotado na fórmula de volume do RadamBrasil. São sugeridos novos valores no modelo usado para converter volume de madeira em estimativas de biomassa. Um mapa de biomassa para a Amazônia brasileira foi produzido a partir de 2860 parcelas inventariadas pelo Projeto RadamBrasil incorporando as correções para densidade de madeira, volume de madeira e nos fatores usados para adicionar o volume do fuste de pequenas árvores e a biomassa das copas. Os valores de biomassa médios estimados a partir de inventários em larga-escala de volume de madeira demonstram razoável concordância com estimativas de biomassa por equações alométricas. Considerando todos os ajustes o mapa de biomassa indica estoque de biomassa de 125,4 Pg ($=10^{15}$ g) de peso seco (acima e abaixo do solo) para áreas originalmente florestadas na Amazônia Legal Brasileira como um todo (104,2 Pg para somente acima do solo) no período dos inventários do RadamBrasil, que foram realizados antes que intensivos desmatamentos tenham ocorrido na região. Savana e outras vegetações não-florestais estão excluídas da estimativa. Se áreas desmatadas até 2006 são eliminadas, excluindo agricultura, pastagens e vegetação de floresta secundária, a estimativa de biomassa seca estocada é reduzida para 113,3 e 94,2 Pg (acima do solo + abaixo do solo e somente acima do solo). Assim, atualmente o estoque de carbono em áreas de florestas na Amazônia Brasileira como um todo é cerca de 55 Pg (assumindo 1 Mg biomassa seca = 0,485 Mg C). A biomassa por tipo de floresta (agregada em 15 classes de vegetação) foi estimada para cada estado da Amazônia Legal Brasileira.

Palavras-chave: Equações alométricas, Floresta Amazônica; Estimativas de biomassa; Fluxo de carbono; Aquecimento global; Volume de madeira.

⁴ Escrito sob as normas da revista Forest Ecology and Management

Introdução

A floresta Amazônica é um enorme e dinâmico reservatório de carbono que pode ser gradualmente liberado para a atmosfera por meio da ação combinada de desmatamento e perda de carbono do solo devido a mudanças no uso da terra e o impacto das mudanças no clima (Cox et al., 2000, 2004; Houghton, 2005; IPCC, 2007; Malhi et al., 2006; Nepstad et al., 1999). Como o estoque de carbono é incerto (Eva et al., 2003; Fearnside and Laurance, 2003; Houghton et al., 2001), a gama de possíveis emissões de carbono a partir do desmatamento tropical e degradação é mais ampla do que tem sido comumente considerado (Houghton, 2005). Estimativas de biomassa estocada são discordantes quando o mesmo método é aplicado ou quando estimativas a partir de equações alométricas são comparadas com a biomassa obtida por inventários em larga-escala de volume de madeira (Houghton et al., 2001; Malhi et al., 2006).

Nas florestas da Amazônia, dados a partir de inventários de volume em larga-escala (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983) têm sido usados como a principal base para estimativas de biomassa e emissão de gases de efeito estufa a partir do desmatamento (Fearnside, 2000b; Houghton et al., 2001). Embora incertezas sejam inerentes aos dados de inventário florestal amostrados sobre extensas áreas, estes conjuntos de dados têm sido preferidos para estimativas de biomassa que equações alométricas porque os inventários são cridos ser a única base de dados que pode ser usada para estimar a biomassa florestal ao nível de superfície porque eles foram coletados à escala do problema (Brown et al., 1989; Brown and Lugo, 1992). Por outro lado, representatividade espacial em larga-escala é a desvantagem crucial de modelos alométricos que são desenvolvidos a partir de um pequeno número de árvores amostradas diretamente, mas estes modelos têm a vantagem de serem facilmente empregados a extensas áreas na estimativa de biomassa de árvores (Baker et al., 2004; Chave et al., 2005; Malhi et al., 2006). Apesar de raramente serem testadas diretamente, equações alométricas representam um método necessário para avaliar inventários florestais de longo prazo e a magnitude de fluxo de carbono entre os ecossistemas florestas acima do solo e a atmosfera (Chave et al., 2005; Grace, 2004). Em adição, é sugerido neste estudo que árvores pesadas diretamente por amostragens em pequena escala em tipos específicos de floresta podem ser úteis para aperfeiçoar os valores utilizados nos modelos para estimativa de biomassa baseados em dados de volume de madeira obtidos por inventários em larga-escala.

As incertezas nas estimativas de biomassa a partir de dados de volume do RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983) são devido a erros nas estimativas originais do volume de madeira e na subsequente conversão para biomassa (Brown et al.,

1995). Nas estimativas de volume as incertezas podem ser (i) nas medições da área basal devido a irregularidades na forma dos fustes ou a ocorrência de ocos (Nogueira et al., 2006; Sheil, 1995), (ii) nos valores para altura comercial estimada ‘a olho’ sem medições diretas, e (iii) devido a um único fator de forma usado para as árvores de todos os tamanhos e todos os tipos de florestas. O afilamento médio (fator de forma) adotado nas estimativas de volume foi 0,7 para árvores com casca e circunferência ≥ 100 cm, incluindo todas as espécies independente do tipo de floresta, classe de diâmetro ou comprimento do fuste (Brasil, RadamBrasil Project, 1973-1983; Heinsdijk, 1958; Pitt, 1961, p. 20). Qualquer incerteza nas estimativas de volume do fuste implica em proporcional incerteza nas estimativas de biomassa e emissão de carbono.

O modelo mais usado para estimativa de biomassa da floresta Amazônica foi desenvolvido como um meio alternativo para usar o conjunto de dados disponíveis de volume de madeira a partir de inventários em larga-escala em toda a Amazônia (veja Brown et al., 1989; Brown and Lugo, 1992; Houghton et al., 2001). O volume do fuste é convertido para biomassa a partir de dados de densidade de madeira, juntamente com um ‘fator de expansão de volume’ para adicionar o volume de pequenas árvores (geralmente 10 a 30 cm de diâmetro), e um ‘fator de expansão de biomassa’ para adicionar a biomassa das copas. O modelo permite que a biomassa seja estimada para todas as árvores com diâmetro de fuste na altura do peito ≥ 10 cm. Embora recentes estudos sobre densidade de madeira tenham reduzido as incertezas na conversão do volume do fuste para a biomassa do fuste, particularmente em áreas submetidas a desmatamento (Nogueira et al., 2007), ainda permanecem incertezas na conversão do volume do fuste para a biomassa da árvore. Basicamente isto é devido a fatores que adicionam o volume dos fustes de pequenas árvores não-inventariadas e a biomassa das copas.

Neste capítulo buscou-se unir os dois métodos principais para estimativas de biomassa – equações alométricas e volume inventariado de madeira – a fim de ajustar as estimativas de biomassa para as florestas Amazônicas. Uma nova equação de biomassa é desenvolvida a partir de árvores pesadas sobre solos férteis no sul da Amazônia e duas novas equações para volume do fuste são desenvolvidas a partir de árvores em floresta densa e floresta aberta. Estas relações alométricas são usadas para avaliar incertezas em estimativas prévias de volume de madeira e biomassa. No caso do usual modelo de biomassa a partir de volume de madeira inventariado foi avaliado se os fatores atualmente utilizados para adicionar o volume do fuste de pequenas árvores (fator de expansão de volume) e a biomassa das copas (fator de expansão de biomassa) são adequados para conversão de biomassa. Finalmente, foram

aplicadas todas as correções para gerar um novo mapa de biomassa para as florestas na Amazônia Brasileira a partir das parcelas do RadamBrasil, e calculado o estoque de biomassa por tipo de floresta para cada um dos nove estados na Amazônia Legal Brasileira.

Materiais e Métodos

Sites de estudo

Detalhes da área de estudo na Amazônia central (CA) são descritos em Nogueira et al. (2005). Exceto para dados a partir do município de Carlinda/MT, os outros sites no sul da Amazônia (SA) são descritos por Nogueira et al. (2007). Nos sites da CA a vegetação é caracterizada como sendo floresta ombrófila densa de *terra firme* (áreas que não são inundadas sazonalmente), sobre latossolo amarelo pobre em nutrientes (Magnago et al., 1978; Yamazaki et al., 1978). Nos sites no SA a vegetação foi descrita como floresta aberta, incluindo o site em Carlinda na porção noroeste do estado do Mato Grosso. Exceto para o site em Carlinda, onde foi observada evidência de perturbações prévias, todos os outros sites foram em floresta primária, sem invasões de árvores pioneiras ou mortalidade associada com bordas. O conjunto de dados amostrado no site de Carlinda não foi usado para equações de biomassa, somente foram usadas para cálculos de afilamento e nas equações de volume. Todas as árvores foram derrubadas randomicamente após autorização pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Para a CA um inventário de 72 ha (Castilho et al., 2006) foi usado para ajustar as amostras derrubadas para uma distribuição de classe de tamanho mais representativo em intervalos de 5 cm de DAP. No SA foi usado um inventário de 11 ha para árvores com DAP ≥ 10 cm (Feldpausch et al., 2005) e um inventário de 30 ha para árvores com diâmetro entre 5 a 10 cm (Pereira et al., 2005).

Coleta de dados

Na CA as árvores (n = 302; DAP ou logo acima de qualquer sapopema = 5 a 106 cm) foram coletadas em seis diferentes locais distribuídos sobre uma área de 45 km². Aproximadamente 50 árvores por site foram amostradas em parcelas medindo 30 × 30 m. No SA as árvores foram coletadas (n = 300; DAP ou logo acima de qualquer sapopema = 5 a 124 cm) em quatro municípios: 30 árvores em Juruena (2 sites), 149 árvores em Cotriguaçu (1 site), 56 árvores em Carlinda (1 site) e 65 árvores em Novo Progresso (1 site). Os sites de coleta foram localizados a pelo menos 100 m da borda da floresta. Amostras botânicas de todas as árvores foram coletadas e identificadas por para-botânicos que são empregados no

Herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Um total de 186 espécies ou morfo-espécies foram identificados nos sites na CA e 155 no SA.

Tanto nas regiões na CA como no SA discos de espessura constante (~3 cm) foram coletados em todas as árvores após derrubada, na altura do peito e no final do fuste (na altura do primeiro galho grosso), usando um motosserra. Para todas as árvores uma fita métrica foi utilizada para medir a altura total, a altura do fuste e a circunferência no local onde cada amostra de disco foi feita. As medições na altura do peito foram feitas a 1,36 m acima do solo nos sites na CA e 1,30 m nos sites no SA, ou logo acima de qualquer sapopema. Cada disco foi desenhado sobre um painel pelo tracejado do perímetro e, em casos de troncos ocos, considerando os detalhes internos. Os desenhos foram fotografados a uma distância conhecida, com uma câmera posicionada em ângulo reto em relação ao plano vertical e horizontal. A câmera, com uma lente de 80-mm, foi posicionada a uma distância escolhida para minimizar a curvatura do plano fotografado. Um retângulo com dimensões conhecidas foi desenhado no entorno dos painéis a fim de permitir correções para eventuais distorções no procedimento e também para determinar a escala da imagem digital (a área de cada pixel).

A área de cada disco foi calculada em pixels usando o software Adobe Photoshop e foi mais tarde convertido para centímetros quadrados. O volume do fuste de cada árvore, corrigido para irregularidades e ocos, foi calculado usando a fórmula de Smalian (Loetsch et al., 1973): $\{(A_{si} + A_{sf}) / 2\} \times h$; onde A_{si} = área da seção transversal na altura do peito, A_{sf} = a área da seção transversal no final do fuste; e h = a altura do fuste comercial. Foi aplicada a fórmula de Smalian após correção das medidas biométricas das árvores amostradas para o efeito de fustes irregulares e ocos. Isto é referido neste estudo como volume 'corrigido' e é equivalente ao volume que seria obtido por aplicar a fórmula de Smalian para dados sem correção e então corrigindo os resultados para troncos irregulares ou ocos.

Pesagem de árvores

Nos sites no SA 264 árvores (5 a 124 cm DAP ou acima de sapopemas) foram cortadas e a massa fresca de cada árvore pesada completamente. O fuste foi cortado na menor altura possível usando um motosserra, que também foi usado para cortar partes do fuste e os galhos da copa. Para árvores grandes ou de tamanho médio uma lona foi colocada sobre o solo embaixo do ponto onde o fuste ou galhos grossos foram cortados a fim de coletar a serragem, que também foi pesada. Com exceção do toco, a árvore inteira foi cortada em pedaços de tamanhos apropriados e pesados usando uma balança com 200 Kg de capacidade. As massas frescas de seis fustes de grandes árvores cortadas na Fazenda Rohsamar (município

de Juruena) foram obtidas usando um método diferente: cada fuste foi colocado sobre um caminhão como um tronco intacto, e o caminhão carregado foi conduzido sobre uma balança apropriada para pesagem de veículos com carga (capacidade >60 toneladas). As copas destas árvores foram pesadas diretamente no campo usando a mesma balança (200 Kg de capacidade) usada para as outras árvores. Neste estudo, a copa foi considerada ser todos os componentes acima do final do fuste comercial, pesando juntos: galhos, ramos, folhas, flores e frutos. Para obter a massa seca do fuste, a massa fresca foi multiplicada pelo conteúdo de umidade (Mc) do fuste de cada árvore. A média do Mc ($0,416 \pm 0,068$) foi utilizada para árvores que não tinha Mc médio do fuste (Nogueira et al., submetido). O Mc da copa não foi mensurado, mas estimado usando dados a partir da literatura. Higuchi et al. (1998) reporta 42% para umidade na copa, obtido a partir de 38 árvores na Amazônia central (CA). Em um recente estudo, Silva (2007) reporta Mc para raízes, fustes, galhos e folhas obtidos a partir de 128 árvores, também amostradas na CA. A partir de Silva (2007) foi encontrado para a copa $Mc = 44,4\%$. Porque o Mc no fuste é significativamente maior nas árvores do sul da Amazônia (SA), a umidade encontrada por Silva (2007) para as copas não foi diretamente usada neste estudo. Foi estimado o Mc para as copas das árvores no SA a partir do Mc mensurados nos fustes das árvores no SA, assumindo a mesma relação encontrada na CA (a partir de Silva, 2007) entre o Mc do fuste e copa, isto é: $(Mc_{\text{copa}} \text{ nas árvores na CA} \times Mc_{\text{fuste}} \text{ nas árvores no SA}) / (Mc_{\text{fuste}} \text{ nas árvores na CA})$. O Mc da copa encontrado para árvores no SA foi 0,476.

A massa seca do toco foi estimada e posteriormente somada à massa seca do fuste. Portanto, a massa seca do fuste mencionada neste estudo também inclui o toco e a serragem produzida pelo corte dos discos (coletados para medições do conteúdo de umidade).

A massa seca do toco foi estimada usando o volume e a densidade da madeira do toco, sendo que ambos foram estimados. Somente a altura do toco foi estimada diretamente no campo. As áreas das seções transversais da base e final do toco foram estimadas e multiplicadas pela altura do toco. Primeiro, a área da seção transversal na base do toco (rente ao solo) foi obtido por $(EF \times BA) / (2 - EF)$, onde EF = fator de alargamento e BA = área da seção transversal na altura do peito ou acima de qualquer sapopema. Nesta fórmula a área da seção transversal é corrigida para ocos e irregularidades. O $EF = \{[(BA \times (\text{altura do fuste} - \text{altura de BA})) / ((BA + \text{área da seção no final do fuste}) / 2)] \times (\text{altura do fuste} - \text{altura de BA})\}$. Na fórmula para calcular o EF , a área da seção transversal na altura do peito ou acima de sapopema e no final do fuste foi corrigida somente para irregularidades, não para ocos, quando presente. Segundo, a área da seção transversal no final do toco foi obtida por: $BA +$

(BA \times % alargamento entre BA e altura do toco). Também neste caso o BA é corrigido apenas para irregularidades. Portanto, a biomassa do toco = (média da área da seção transversal na base e no final do toco \times altura do toco) \times a densidade média do toco. A densidade média do toco foi obtida a partir da densidade da madeira na base do fuste corrigida para a variação ao longo do comprimento do fuste. A densidade da madeira média do toco foi 1,36% maior ($0,626 \pm 0,130$; $n = 233$) que a densidade da madeira na base do fuste: 0,618 (na altura do peito ou acima de sapopemas, se presente). Foi encontrado que a biomassa do toco é equivalente a 1% da biomassa seca do fuste sem o toco ($n = 264$ árvores) e representam $2,15 \text{ Mg/ha}^{-1}$ quando normalizado para a frequência de árvores esperadas por hectare. Este valor é útil para ajustar estimativas de biomassa e emissão em áreas desmatadas.

Equação alométrica para biomassa

Neste estudo somente o diâmetro (na altura do peito ou acima de qualquer sapopema, em cm) foi adotado como uma variável de entrada (*input variable*) em um modelo simples que calcula a biomassa seca acima do solo (em Kg). Embora seja possível obter um apropriado modelo de regressão a partir de alturas medidas com acuracidade e densidades de madeira disponíveis para as árvores deste estudo, o uso de um modelo com altura ou densidade como parâmetros adicionais pode se tornar impreciso devido a dificuldade prática de obter medições de altura ou densidade sem viés para extensas áreas (Brown et al., 1995; Overman et al., 1994). A prioridade foi obter um ajuste a partir de uma equação com somente diâmetro como variável independente, a fim de facilitar seu uso prático. Além disso, existem suficientes modelos previamente publicados que incluem altura e densidade de madeira. Aqui apenas é discutido a acuracidade de modelos prévios que incluem diâmetro, altura e densidade de madeira juntas (Brown, 1997; Chave et al., 2005; Higuchi et al., 1998; Overman et al., 1994).

A massa seca e o diâmetro foram log transformados para satisfazer o procedimento de quadrado médio (regressão linear geral), o qual assume que os resíduos são normalmente distribuídos, que a variável dependente é homogeneamente distribuída a longo das variáveis independentes, que as relações são lineares, que os efeitos dos fatores são aditivos e que não há erros aleatórios nas medições das variáveis independentes (Magnusson and Mourão, 2005). Os resíduos pela distribuição de Student (*studentized residuals*) foram plotados contra o *leverage* e a distância de Cook calculada para identificação de *outliers*. A distância de Cook mede a influência de cada amostra observada sobre a estimativa do coeficiente (Cook and Weisberg, 1982; Wilkinson, 1990).

Os critérios estatísticos observados para selecionar a melhor equação foram: elevado r^2 ajustado, que permite comparação com equações alométricas publicadas que incluem diferentes números de variáveis (André et al., 2000), a distribuição padronizada dos resíduos e o menor erro padrão de estimativa. O erro padrão de estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{Erro Padrão Médio (MSE)}}$ (Neter and Wasserman, 1974). As seguintes medições foram observadas para cada variável: coeficiente da regressão, erro padrão do coeficiente, coeficiente padronizado, tolerância, e a estatística t para medir a utilidade da variável na equação.

Para avaliar a performance das equações desenvolvidas neste estudo quando comparadas com modelos previamente publicados, foi usado o desvio (%) entre a soma das massas das árvores diretamente medidas e a massa como estimada por cada uma das equações prévias; tanto para árvores amostradas como para extrapolações por hectare.

Equações para volume do fuste em floresta densa e aberta

A partir do volume dos fustes corrigidos para irregularidades e troncos ocos (variável dependente), e medidas convencionais de diâmetro como DAP ou acima de qualquer sapopema (variável de entrada), equações alométricas do fuste foram desenvolvidas para tipos de floresta densa e aberta. Na seleção das equações de fuste o mesmo critério estatístico foi adotado como aqueles mencionados acima para equações de biomassa.

Fator de forma: afilamento médio do fuste para árvores em floresta densa e aberta

O fator de forma foi calculado pela razão entre o volume ‘corrigido’ do fuste e o volume se o fuste for assumido ser um cilindro, de acordo com a fórmula: $ff = \{((Asi_c + Asf_c) / 2) \times h\} / (Asi_n \times h)$; onde: Asi_c = área corrigida da seção transversal na altura do peito, Asf_c = área corrigida da seção transversal no final do fuste; e h = altura do fuste comercial. Isto foi feito para que fosse possível comparar os resultados com aqueles obtidos com o fator de forma usado pelo Projeto RadamBrasil: a variável " Asi_n " no denominador da fórmula para fator de forma *não foi corrigido* para o efeito de irregularidades e troncos ocos. O fator de forma foi obtido deste modo para cada árvore.

Para estimativas de biomassa das florestas Amazônicas estudos prévios têm usado um simples fator de forma médio para toda a Amazônia, independente do tipo de floresta. Neste capítulo, o afilamento médio dos fustes foi analisado considerando o tipo de floresta, refletindo diferenças na estrutura do dossel e na densidade de caules. Subseqüentemente, o fator de forma foi calculado ajustando as amostras cortadas para a distribuição de diâmetros de árvores em cada tipo de floresta.

Fator de expansão de volume (VEF): adição do volume dos fustes de árvores com DAP 10 a 31,7 cm

O VEF reportado neste estudo segue a definição de Brown (1997): razão entre o volume inventariado para todas as árvores com diâmetro mínimo ≥ 10 cm e o inventário de volume para todas as árvores com um diâmetro mínimo, neste estudo $DAP \geq 31,8$ cm. O VEF foi obtido a partir do volume do fuste ‘corrigido’ e portanto não possui superestimativa devido a irregularidades e oco no tronco. É necessário enfatizar que os valores de VEF reportados neste estudo incluem árvores entre 10 e 31,7 cm de diâmetro, o que pode constatar com prévios valores de VEF que não incluem árvores de 25-31,7 ou 30-31,7 cm de diâmetro (Brown and Lugo, 1992; Brown, 1997). As árvores amostradas em tipos de florestas densas e abertas foram normalizadas pelas classes de distribuição de diâmetro, e o volume proporcional nas classes de tamanhos de 10 a 31,7 cm de diâmetro foram obtidos baseado no volume total inventariado por hectare para árvores $\geq 31,8$ cm de diâmetro (veja item 2.1 para detalhes sobre inventários).

Fator de expansão de biomassa (BEF): adição da biomassa das copas sobre o volume inventariado dos fustes

Em floresta densa na CA o BEF reportado neste capítulo foi obtido a partir da razão da biomassa das árvores em relação à biomassa dos fustes. A biomassa das árvores foi estimada usando um modelo desenvolvido em um tipo de floresta similar na CA (Higuchi et al., 1998): $\ln(\text{massa fresca}) = -1,754 + 2,665 \times \ln(\text{diâmetro})$ e $\ln(\text{massa fresca}) = -0,151 + 2,17 \times \ln(\text{diâmetro})$, respectivamente para caules de 5 – 20 cm e ≥ 20 cm no diâmetro. A biomassa dos fustes foi calculada a partir do volume ‘corrigido’ do fuste de cada árvore, para evitar superestimativas causadas por irregularidades e ocos, multiplicado pela densidade básica média da madeira de cada fuste (veja Nogueira et al., 2005, 2006). A descrição detalhada da amostragem da densidade de madeira é fornecida em Nogueira et al. (2005). Inventários em larga-escala foram também usados para obter o BEF normalizado pela distribuição de classe de diâmetro.

Na floresta aberta no SA o BEF foi estimado a partir de uma razão similar à que foi utilizada para árvores na CA. No entanto, a biomassa das árvores foi obtida diretamente pela pesagem de cada árvore. Além de um valor do BEF, que pode ser usado quando medições de cada árvore são indisponíveis, uma equação alométrica foi desenvolvida para estimar a biomassa das copas a partir de medições convencionais de diâmetro.

Mapeamento da biomassa em toda a Amazônia brasileira

Foram reunidas 2860 parcelas (1 hectare) com volume de madeira inventariado para toda a Amazônia brasileira a partir de 25 volumes publicados pelo Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983). Foram desprezadas as parcelas com área menor que 1 ha e ecossistemas não-florestais, tais como savanas (forestada, arborizada e gramíneo-lenhosa), campinas (vegetação sobre areia branca); mas incluídas zonas de contato entre não-florestas e formações florestais. Em cada parcela foi possível obter um inventário de espécies, o número de árvores e uma descrição do ecossistema. O volume do fuste foi convertido a biomassa do fuste a partir de um amplo conjunto de dados sobre densidade de madeira. Esse banco inclui dados publicados por Fearnside (1997) com algumas fontes sendo corrigidas para variação radial baseadas em equações lineares (Nogueira et al., 2005), outras fontes oriundas de Chave et al. (2006) e dados recentes por Nogueira et al. (2007). A biomassa por área para todas as árvores ≥ 10 cm DAP foi obtida usando a biomassa dos fustes e os novos valores de VEF e BEF reportados neste estudo. Estimativas para outros componentes vivos e mortos acima do solo e componentes abaixo do solo foram obtidos pela adição de porcentagens à biomassa de árvores ≥ 10 cm DAP baseadas em vários estudos conduzidos na Amazônia brasileira, como demonstrado na Tabela 1. Para incluir árvores < 10 cm DAP um ajuste de 6,5% foi usado para floresta densa baseado nos resultados publicados por Castilho et al. (2006) em um estudo de 72 ha próximo a Manaus, onde árvores de 1 a 10 cm de DAP incluem 6,4% (cerca de 19 Mg/ha^{-1}) da biomassa total das árvores. Nascimento and Laurance (2002; Tabela 2) encontraram 6,5% ($=21,11/325,51$) da biomassa das árvores no intervalo de 5-9,9 cm DAP como uma porcentagem da biomassa das árvores ≥ 10 cm DAP. Em floresta aberta esta porcentagem é esperada ser menor devido ao menor número de árvores jovens quando comparado a floresta densa. Baseado em 30 ha inventariadas no sudoeste da Amazônia (Pereira et al., 2005) existem $102,5 \pm 24,5$ árvores de 5 a 10 cm DAP, enquanto na Amazônia central há cerca de 715 árvores (Castilho et al., 2006). Foi utilizado 4% como o valor médio para florestas não-densas para adicionar todas as árvores 1-10 cm DAP (Tabela 1). Para a biomassa de palmeiras em floresta densa 1,9% foi adicionado e 8,6% para florestas não-densas, veja Tabela 1. Para lianas 3,1% foi usado tanto para floresta densa quanto para floresta aberta, baseado em vários estudos conduzidos pela Amazônia (Tabela 1). Para adicionar a biomassa morta acima do solo um valor de 13,7% é usado para floresta densa e para florestas não-densas (Tabela 1). Também foram adicionados 0,21% para outros componentes não-arbóreos, em concordância com Fearnside (1997, 2000). Finalmente, para a biomassa abaixo do solo foi usado 25,8% para todos os tipos de florestas (Tabela 1). Neste

estudo não foram incluídas correções para árvores 30-31,7 cm DAP porque os valores de VEF reportados aqui incluem este intervalo. Correções também não foram incluídas para casca em valores de densidade de madeira, porque equações lineares foram utilizadas para correções da variação radial.

As coordenadas geográficas de cada parcela inventariada foram obtidas com medições de régua a partir dos mapas fito-fisionômicos originalmente disponíveis nos volumes originais do Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983) a uma escala de 1:1.000.000. Uma versão atualizada deste mapa fito-fisionômico, ou simples mapa de vegetação, produzido em 2007 (IBGE/SIPAM) a uma escala de 1:250.000, foi relacionado à biomassa média corrigida para cada classe de vegetação. O sistema de classificação é baseado em Veloso et al. (1991).

Usando um *software* GIS (ARCGIS versão 9.0, ESRI), uma série de passos de geoprocessamento foi executada para recuperar as classes de vegetação originais em áreas desmatadas e degradadas a fim de calcular a biomassa original no momento do inventário da vegetação e secundariamente para agregar as classes de vegetação aos níveis de classificação usados para os cálculos de biomassa. A área total de cada classe de vegetação (ha) foi derivada a partir do mapa. A biomassa de cada tipo de vegetação na região foi calculada simplesmente por multiplicar a área para cada tipo de floresta (ha) pela biomassa média por hectare. As classes de vegetação incluídas cobrem 344.888.943 ha, ou 67,5% da Amazônia Legal Brasileira (510.468.420 ha); as classes de vegetação usadas não incluem savanas e muitos dos tipos de vegetação de campinarana.

Quartoze por cento da área é classificada como cobertura da terra alterada antropicamente. As classes de vegetação originais foram recuperadas para esta área a partir do conjunto de dados do RadamBrasil, os quais incluem informações sobre as classes de vegetação originais antes das alterações na cobertura da terra. Cerca de 11% das áreas alteradas foram reclassificadas. Para uma grande parte do conjunto de dados o tipo de vegetação original elevadas a fito-grupo no nível de classificação (e.g. Da = Floresta ombrófila densa aluvial) foram recuperadas. As áreas adicionais foram classificadas acima no nível de formação geral (e.g. Floresta ombrófila densa) ou foram mantidas como áreas alteradas. Para as áreas com vegetação classificada ao nível de formação, os valores de biomassa para os diferentes fito-grupos foram agregados.

Tabela 1. Medições da biomassa da floresta e componentes não-arbóreos a partir de estudos conduzidos na Amazônia Brasileira (peso seco em Mg/ha⁻¹ e % em relação a biomassa das árvores por área ≥10 cm DAP).

Floresta	Estado	Biomassa de árvores ≥10 cm	Palmeiras	%	Lianas	%	Sub-bosque; plântulas (madeira + folhas)	%	Madeira morta (caída + em pé)	%	Liteira/Tapete de raízes*	%	Abaixo do solo	%	Fonte	Notas
Densa	Amazonas										7,3				Klinge and Rodrigues (1968)	(01)
	Amazonas	357,0			23,0	6,4			25,8	7,2	7,2	2,0	115,8	32,4	Klinge et al. (1975); Klinge and Rodrigues (1973)	(02)
	Pará										9,9				Klinge (1977)	
	Amazonas										6,4				Franken et al. (1979)	
	Pará										7,3				Silva and Lobo (1982)	
	Pará	392,6	5,0	1,3	3,5	0,9	9,6	2,4	7,1	1,8	18,2	4,6	103,5	26,4	Russel (1983)	(03)
	Pará										6,7				Silva (1984)	
	Rondônia	387,9			4,6	1,2	13,0	3,3	1,7	0,4	15,5	4,0			Revilla Cardenas (1986)	(04)
	Pará	186,1			2,8	1,5	5,6	3,0	11,2	6,0	11,6	6,2			Revilla Cardenas (1987)	(05)
	Pará	297,4			9,7	3,3	9,6	3,2	12,3	4,1	10,5	3,5			Revilla Cardenas (1988)	(06)
	Pará	198,3			9,0	4,5	9,2	4,6	8,9	4,5	13,7	6,9			Revilla Cardenas (1988)	(07)
	Amazonas										7,8				Luizão (1989)	(08)
	Pará										8,0				Dantas and Phillipson (1989)	
	Amazonas	244,0			8,1	3,3			12,0	4,9	9,0	3,7			Fearnside et al. (1993)	
	Amazonas										6,5				Luizão (1995)	
	Roraima										9,2				Barbosa and Fearnside (1996)	
	Amazonas								29,7						Summers (1998)	(09)
	Roraima										8,5				Villela and Proctor (1999)	(10)
	Pará		10,6		32,2										Fearnside et al. (1999)	
	Amazonas	325,5	3,5	1,1	10,8	3,3									Fearnside et al. (2001)	(11)
	Amazonas	325,5	1,3	0,4	8,3	2,5	21,1	6,5	31,0	9,5	10,5	3,2			Nascimento and Laurance (2002)	(12)
	Rondônia/ Amazonas	306,8	16,6	5,4	0,6	0,2	14,0	4,6	30,5	9,9	8,3	2,7			Cummings et al. (2002)	(13)
	Pará	258,0			35,0	13,6	16,0	6,2	55,0	21,3					Gerwing (2002)	(14)
	Pará	287,4							96,1	33,4					Rice et al. (2004)	(15)
	Pará								58,4						Keller et al. (2004)	(16)
	Pará								63,5						Keller et al. (2004)	(17)
	Amazonas										5,9				Luizão et al. (2004)	(18)
	Amazonas										5,8				Monteiro (2005)	
	Amazonas	306,1	2,1	0,7			19,5	6,4							Castilho et al. (2006)	(19)
	Amazonas	306,1			6,3	2,1									Nogueira (2006)	(20)
	Amazonas	306,1		2,3		1,8		2,9					104,9	34,3	Silva (2007)	(21)
	Pará								58,4						Palace et al. (2007)	(22)

Não-densa	Pará	126,1			2,9	2,3	6,0	4,8	7,5	5,9	13,1	10,4	Revilla Cardenas (1986)	(23)		
	Rondônia	362,5			10,8	3,0	2,6	0,7	5,5	1,5	16,0	4,4	Revilla Cardenas (1987)	(24)		
	Rondônia	303,0							27,0	8,9	10,0	3,3	Martinelli et al. (1988)			
	Roraima								5,8		4,6		Scott et al. (1992)			
	Acre	320,0	12,8	4,0					35,0	10,9	38,0	11,9	32,0	10,0	Brown et al. (1992)	(25)
	Rondônia	285,0							34,5	12,1	10,0	3,5			Brown et al. (1995)	(26)
	Rondônia	239,4	21,6	9,0	11,9	5,0			9,7	4,1					Graça et al. (1999)	(27)
	Rondônia/ Amazonas	239,4	17,5	7,3	0,5	0,2	14,1	5,9	32,4	13,5	10,1	4,2			Cummings et al. (2002)	(28)
	Mato Grosso								38,8						Pauletto (2006)	(29)
	Mato Grosso								50,2						Palace et al. (2007)	(30)
	Rondônia/ Amazonas	270,1	37,9	14,0	0,6	0,2	11,4	4,2	20,8	7,7	9,5	3,5			Cummings et al. (2002)	(31)
	Mato Grosso/ Pará	253,8					3,1								This study	(32)
	Todos os dados	286,8	12,9	4,6	10,0	3,1	11,0	4,2	29,6	8,8	10,5	4,9	89,0	25,8		
	Densa	299,0	6,5	1,9	11,8	3,4	13,1	4,3	33,4	9,4	9,2	4,1	108,1	31,0		
Não-densa	266,6	22,5	8,6	5,3	2,1	7,4	3,9	24,3	8,1	13,9	5,9	32,0	10,0			

Notas:

* Alguns dos resultados reportados referem-se à produção anual de liteira, as quais podem diferir do estoque por unidade de área. **(1):** Média dos anos 1963 e 1964; **(2):** O peso seco para lianas foi obtido assumindo ser 50% do peso fresco (veja Klinge et al., 1975, Tabela 9-1). O peso fresco de raízes (255 Mg ha^{-1}) reportado por Klinge et al. (1975) foi convertido para massa seca assumindo 45,4% umidade, baseado nos resultados de Silva (2007); **(3):** Vegetação descrita pelo autor como 'submontane broadleaf dense'. A biomassa de árvores $\geq 10 \text{ cm DAP}$ foi calculada a partir da Tabela 3.3, ano 1982. De igual modo foi estimada a biomassa das árvores $< 10 \text{ cm}$ (9,35), as quais foram somadas com ervas de folhas largas (0,26) citada na Table 3.4; **(4), (5), (7), (23), (24):** A liteira e o tapete de raízes foram adicionados juntos; **(6):** a partir de Fearnside et al. (1993); **(8), (10):** Média dos sites estudados pelos autores; **(9):** As estimativas são referentes apenas à liteira grossa lenhosa com diâmetro $\geq 20 \text{ cm}$ (p. 37); **(11):** O valor usado para a biomassa de árvores $\geq 10 \text{ cm DAP}$ foi aquele usado por Nascimento and Laurance (2002); **(12):** A biomassa de palmeiras não inclui indivíduos com $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$, as quais representavam menos de 1% dos caules de todos os indivíduos $\geq 10 \text{ cm}$ de DAP (p. 312); **(12), (13), (28), (31):** a biomassa de lianas foi estimada pela equação de Putz (1983). Os valores de sub-bosque incluem plântulas + árvores $< 10 \text{ cm DAP}$; **(14):** Para a estimativa da biomassa das árvores ($\geq 10 \text{ cm}$) a equação de Overman et al. (1994) foi usada e para a biomassa de lianas a equação de Gerwing and Farias (2000) foi usada; **(15):** Rice et al. (2004) reportam 48 Mg C ha^{-1} e não a biomassa/ha⁻¹. Foi convertido para biomassa considerando a densidade de madeira e 50% de conteúdo de C para a biomassa (veja Tabela 3). A equação de Chambers et al. (2001) foi usada para a biomassa das árvores; **(16), (17), (22), (29), (30):** Material morto lenhoso sob o chão com diâmetro $\geq 2 \text{ cm}$; **(18):** Médias dos estoques entre platô, vertente e baixo (Tabela 3); **(3), (16), (17), (26), (29):** 15% foi adicionado para árvores mortas em pé, baseados em Palace et al., 2007 (12-17%); Nascimento and Laurance, 2002 (11-14%). Outros autores consideram percentuais maiores, como 19-20% por Summers (1998), 18-25% segundo Keller et al. (2004); e Rice et al. (2004), e 42-76% segundo Delaney et al. (1998); **(19):** A biomassa das árvores (excluindo palmeiras) $\geq 10 \text{ cm} = 306,11 \text{ Mg ha}^{-1}$. Veja Anexo A ($325,7 - 6\%$ das árvores ($19,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) entre 1 e 10 cm $\text{DAP} = 306,11$). Palmeiras = $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. A equação de Higuchi et al. (1998) foi usada para estimar a biomassa das árvores $\geq 5 \text{ cm DAP}$ e palmeiras a partir da equação de Saldarriaga et al. (1988). Árvores com $\text{DAP} < 5 \text{ cm}$ a partir da equação de Nascimento and Laurance (2002); **(20):** As estimativas de Nogueira (2006) variaram de 6,3, 12,3 e 3,9 na Amazônia central (obtidas respectivamente pelas equações de Putz, 1983; Gerwing and Farias, 2000; Gehring et al., 2004). Estes valores variam a partir de 2 a 4% da biomassa das árvores $\geq 10 \text{ cm}$ ($= 306,11$) estimadas por Castilho et al. (2006). Aqui foram adotados 2%, referente ao valor obtido pela equação de Putz (1983); ($= 6,3/306,11$); **(21):** Foi usado para palmeiras e lianas o mesmo percentual reportado pela autora que foi estimado em relação a biomassa das árvores $\geq 5 \text{ cm}$. Para o sub-bosque o percentual não inclui mudas 5-10 cm. O peso fresco das raízes reportado por hectare foi convertido para biomassa seca assumindo 45,4% de umidade, calculado a partir das informações do Quadro 5.8c, p. 66. O percentual para raízes se refere a raízes $\geq 2 \text{ mm}$ diâmetro na base. Foi usado a estimativa de Castilho et al. (2006) para a biomassa das árvores $\geq 10 \text{ cm}$, obtida a partir de uma floresta similar e amostragem em grande escala (72 ha); **(24):** "Open upland forest on poorly-drained terrain" (mata de baixo); **(25):** A biomassa viva em pé acima do solo foi baseada na equação de Brown et al. (1989). Palmeiras medidas somente com $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$, encontra-se 4% da biomassa das árvores $\geq 10 \text{ cm}$ (Tabela 1). Biomassa abaixo do solo obtida a partir de Nepstad (1989) que sugere 10% da biomassa das árvores $\geq 10 \text{ cm}$. Dados de troncos mortos em pé foram obtidos de Uhl et al. (1988) em Paragominas, estado do Pará; **(26):** Estimativa refere-se a troncos mortos caídos e liteira; **(27):** Para a biomassa de todas as árvores $\geq 10 \text{ cm}$ foram utilizados os valores calculados por Cummings et al. (2002) para floresta aberta, porque Graça et al. (1999) não estimaram a biomassa das árvores com folhas. Também por isso foram excluídos dados de liteira, porque inclui muitas folhas caídas após derrubada e secagem das árvores; **(32):** 91 árvores com 5-10 cm DAP foram completamente pesadas e replicadas para uma frequência esperada por hectare: $102,5 \pm 24,5$.

Resultados

Equação alométrica de biomassa

A Tabela 2 apresenta equações alométricas de biomassa desenvolvidas a partir de árvores amostradas em floresta aberta no sul da Amazônia (SA), as quais permitem que o peso seco (em Kg) de toda a árvore, do fuste ou copa seja obtido baseado somente em medições de diâmetro (Figura 1A - C). A massa seca de todas as árvores é disponibilizada no Anexo C.

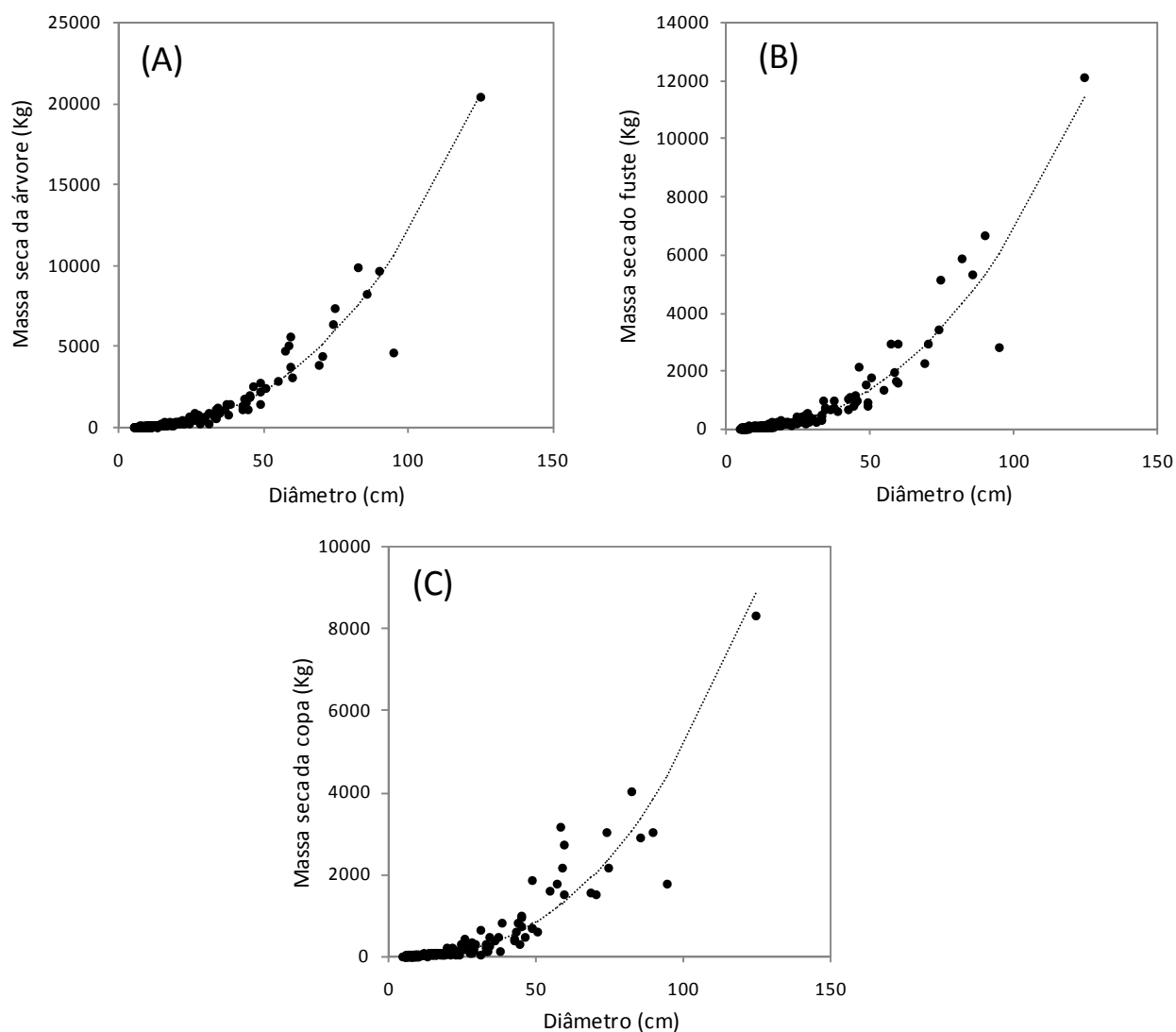


Figura 1. Relação entre diâmetro e o peso seco (em Kg) de toda a árvore (A), fuste (B) e copa (C). As medições de diâmetro (em cm) foram feitas na altura do peito (1,30 m acima do solo) ou logo acima de qualquer sapopema. Cada árvore foi pesada diretamente. O peso seco foi obtido a partir de medidas individuais do conteúdo de umidade a partir de amostras feitas na base e no final do fuste de cada árvore. O peso seco da copa foi determinado considerando um conteúdo de umidade de 47,6% (veja seção 2.3). Veja Tabela 2 para detalhes acerca das equações.

Tabela 2. Parâmetros de equações de biomassa [$\ln(\text{Peso seco}) = a + b \ln(\text{Diâmetro})$] em árvores amostradas em floresta aberta no sul da Amazônia (SA) (variação do diâmetro 5-124 cm). As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,30 m acima do solo) ou logo acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro estão em cm e massa são expressas em Kg.

Modelo	Parâmetros*						n	r ² Ajustado	SEE**
	<i>a</i> ($\pm SE$)	<i>inferior</i> <95%> <i>superior</i>		<i>b</i> ($\pm SE$)	<i>inferior</i> <95%> <i>superior</i>				
Árvore inteira	- 1,716 (0,079)	- 1,872	- 1,560	2,413 (0,029)	2,357	2,470	262	0,964	0,306
Fuste	- 1,929 (0,093)	- 2,111	- 1,746	2,335 (0,034)	2,269	2,402	262	0,949	0,359
Copa	- 3,355 (0,146)	- 3,642	- 3,069	2,578 (0,053)	2,474	2,682	261	0,901	0,564

*Todos os valores dos parâmetros são significantes ($p \leq 0,0001$).

**Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{Quadrado Médio do Resíduo}}$

A equação linear desenvolvida neste estudo estimou com acuracidade a biomassa seca das árvores amostradas (-1%) e a biomassa normalizada por hectare (-0,05%). A biomassa estimada por hectare foi obtida após a normalização do número de árvores amostradas para o número de árvores em cada classe de diâmetro (intervalo de 5-cm) estimado a partir de inventários em larga-escala (para detalhes veja seção 2.1).

Foram testadas três equações alométricas previamente publicadas desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (CA) por Higuchi et al. (1998), Chambers et al. (2001) e por Silva (2007). Todas as três equações desenvolvidas na CA tendem a superestimar a biomassa de pequenas árvores enquanto subestimam a biomassa de árvores maiores. Contudo, a biomassa total estimada para árvores amostradas a partir das equações na CA foi similar à que foi obtida no campo (respectivamente -0,8%, -2,2% e 1,6% para equações por Higuchi et al., 1998; Chambers et al., 2001 e Silva, 2007), devido o efeito de compensação entre super- e subestimativas de pequenas e grandes árvores (Figura 2). Entretanto, quando a biomassa por hectare é estimada usando as equações da CA as estimativas encontradas foram 6% maior para a equação publicada por Higuchi et al. (1998), 8,3% para a equação cúbica de Chambers et al. (2001) e 18,7% para a equação em potência de Silva (2007). A maior estimativa por hectare a partir da equação de Silva (2007) é explicada pela superestimativa de árvores menores (Figura 2), visto que na floresta densa na CA há muitas árvores pequenas (veja Tabela 4 em Castilho et al., 2006). Para converter em massa seca a massa fresca estimada com as equações de Higuchi et al. e Silva foi usado o valor de 0,57, assumindo um conteúdo de umidade de 43% nos componentes acima do solo das árvores, obtido a partir dos resultados de Silva (2007, p. 67, Tabela 5.8c).

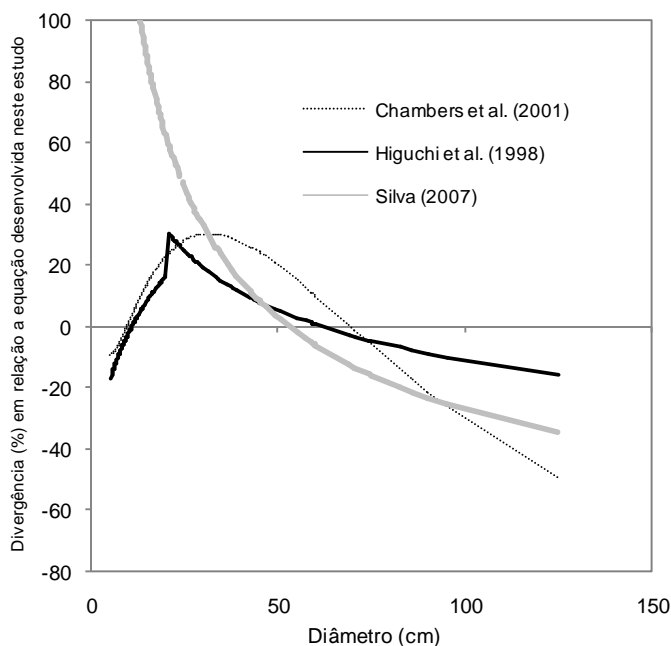


Figura 2. Divergência (%) da biomassa estimada para as duas equações lineares [$DW = \exp(-1,754 + 2,665 \times \ln(D)) \times 0,57$; $DW = \exp(-0,151 + 2,17 \times \ln(D)) \times 0,57$] por Higuchi et al. (1998), para a equação cúbica de Chambers et al. (2001) [$DW = \exp(-0,37 + 0,333 \times \ln(D) + 0,933 \times \ln(D)^2 - 0,122 \times \ln(D)^3)$], e a recente equação em potência [$\exp = (2,2737 \times D^{1,9156}) \times 0,57$] desenvolvida por Silva (2007), comparadas à equação linear desenvolvida neste estudo. As equações de Higuchi e Silva relacionam diâmetro à massa fresca. Neste estudo foram usados 43% de conteúdo de umidade para obter a massa seca, baseado em um recente conjunto de dados por Silva (2007).

Dois modelos que incluem diâmetro, altura e densidade da madeira como variáveis independentes, como aqueles publicados por Chave et al. (2005) e Overman et al. (1994), estimaram com acurácia a biomassa das árvores amostradas ou quando normalizada por hectare (ambas superestimando em cerca de 4%). Foi testada a equação quadrática publicada de Brown (1997) que foi utilizada por estudos anteriores em florestas no SA. Esta equação resulta em estimativa acurada das árvores amostradas (+1,8%), mas quando normalizada por hectare, o erro aumenta para 6,5%. Isto difere da equação linear também publicada por Brown (1997), a qual superestimou a biomassa das árvores amostradas em 4,6% mas superestimou em somente 2% quando normalizado por hectare.

Também foram testadas outras equações previamente publicadas (Brown et al., 1989; as equações linear e quadrática de Chambers et al., 2001; Chave et al., 2001; a equação cúbica de Chave et al., 2005; equações de Silva, 2007 com diâmetro e altura; Santos, 1996 e Saldarriaga et al., 1988), mas todas as comparações resultam em erros maiores.

Foi aplicada a correção para diferença da densidade de madeira (relação = 0,593/0,67) na biomassa estimada a partir da equação de Chambers et al. (2001) como proposto por Baker et al. (2004) e Malhi et al. (2006). Os resultados subestimam a biomassa por hectare em 4,7%. Isto sugere erro similar nos mapas de biomassa publicado por Malhi et al. (2006). Similarmente, um recente estudo (Nogueira et al., 2008) que adiciona correções para caules mais curtos sobre a equação de Higuchi et al. (1998) implica em uma subestimativa ainda maior da biomassa para florestas abertas. Embora lógica, simples correções a partir de relações alométricas parece ser um arriscado meio para fazer ajustes de biomassa.

A biomassa seca do fuste foi 60,6% da biomassa de toda a árvore. Esta relação é 57,9% quando a comparação é baseada sobre a massa fresca, isto é devido o maior conteúdo de umidade nos tecidos da copa, tais como folhas e galhos finos. Estes resultados indicam que, quando comparado ao fuste, a biomassa estocada nas copas das árvores em floresta aberta (39,4%) é significativamente maior que em árvores na floresta densa (CA), onde a biomassa da copa é equivalente a 30,8% (n = 121) da biomassa da árvore inteira (Silva, 2007, p. 57) ou 34,4% (n = 38) de acordo a Higuchi et al. (1998).

Foi avaliado se esta diferença pode ser explicada por um caule mais curto a um dado diâmetro em árvores no SA (Nogueira et al., 2008) ou porque o tamanho das copas nas árvores no SA tende a ser maior que na CA. Foram plotados os resultados a partir de um modelo de biomassa da copa desenvolvido em floresta densa (Chambers et al., 2001) sob os dados das copas diretamente pesadas em floresta aberta, o que permitiu concluir que as copas nas florestas abertas não são maiores que em floresta densa (Figura 3). Portanto, maior biomassa estocada nas copas no SA quando comparado à massa dos fustes é devido somente aos fustes mais curtos em florestas abertas quando comparados a florestas densas. Usando a equação para fuste em floresta densa também desenvolvida por Chambers et al. (2001) resultou em uma superestimativa de 13% da biomassa dos fustes por hectare.

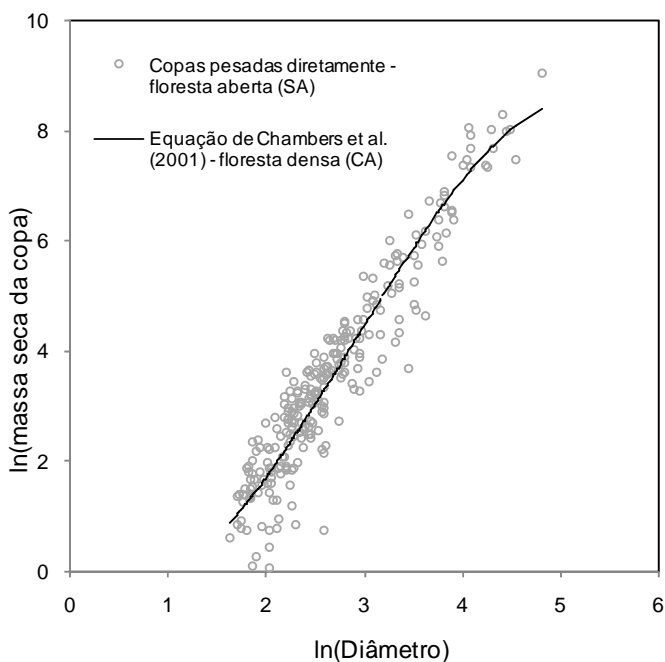


Figura 3. Equação para biomassa da copa desenvolvida em floresta densa, Amazônia central (CA) por Chambers et al. (2001) plotada sobre a massa das copas diretamente pesadas em floresta aberta, no sul da Amazônia (SA). Medições de diâmetro são em cm; a massa da copa é expressa em Kg (peso seco).

Equações alométricas para estimativa do volume do fuste

Equações para estimativa de volume do fuste foram desenvolvidas para floresta densa na CA e para floresta aberta no SA (Tabela 3 e Figura 4A-C). Todas as equações permitem obter o volume dos fustes corrigidos para troncos ocos e irregulares baseados somente em medições convencionais de diâmetro (na altura do peito ou acima de sapopemas) e são também um meio alternativo para evitar erros oriundos de estimativas de altura ou afilamento. As equações também permitem inclusão de árvores com diâmetro do fuste <31,8 cm, os quais não foram inventariados pelo Projeto RadamBrasil. As equações podem também ser úteis para ajustar erros em medições de árvores de inventários em larga-escala, identificando incoerências entre medições de diâmetros e altura.

Tabela 3. Parâmetros de equações de volume do fuste [$\ln(\text{Volume corrigido}) = a + b \ln(\text{Diâmetro})$] na Amazônia central (CA) e no sul da Amazônia (SA). As medições de diâmetros foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são expressas em cm e o volume em m³.

Tipos de floresta	intervalo de Diâmetro	Parâmetros*						n	r ² Ajustado	SEE**
		a ($\pm SE$)	inferior <95%> superior		b ($\pm SE$)	inferior <95%> superior				
Floresta densa, CA	5 – 39,9	- 9,008 (0,091)	- 9,186	- 8,830	2,579 (0,031)	2,640	2,518	253	0,965	0,245
	40 – 106	- 6,860 (0,565)	- 7,996	- 5,723	1,994 (0,143)	2,281	1,706	48	0,805	0,228
Floresta aberta, SA	5 – 82	- 8,939 (0,068)	- 9,072	- 8,806	2,507 (0,025)	2,458	2,557	298	0,971	0,251

*Todos os valores dos parâmetros são significantes ($p \leq 0,0001$).

**Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{Quadrado Médio do Resíduo}}$.

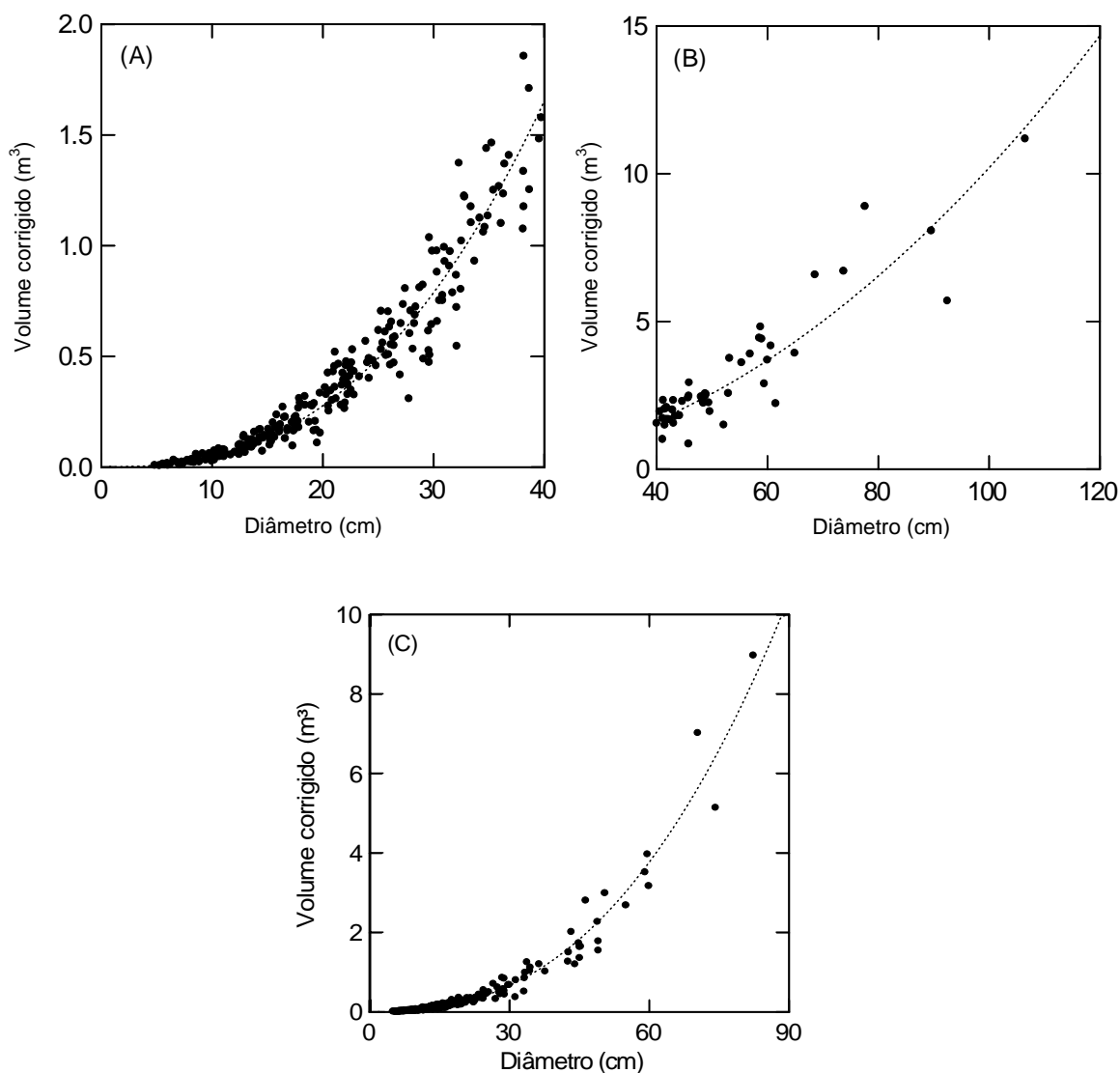


Figura 4. Relação entre $\ln(\text{Diâmetro})$ e $\ln(\text{Volume corrigido})$ considerando árvores com DAP 5-39,9 cm (A) e DAP 40-106 cm (B), ambas em floresta densa, e árvores com DAP 5-82 cm (C) em floresta aberta. As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na Amazônia central ou 1,30 m no sul da Amazônia) ou acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são em cm e medições do volume do fuste em m^3 . Veja Tabela 3 para detalhes das equações.

Fator de forma: afilamento médio dos fustes em florestas densa e aberta na Amazônia

Em geral, o fator de forma médio considerando árvores de todos os tamanhos (diâmetros a partir ≥ 5 cm) é similar entre floresta densa na CA e floresta aberta no SA (Tukey test; $p > 0,05$). Na floresta densa o afilamento aumenta (menor fator de forma) com o aumento do tamanho da árvore, enquanto que em floresta aberta o afilamento das árvores de tamanho intermediário é maior que na floresta densa (Figura 5A-B). Por causa disto, o fator de forma

encontrado considerando somente árvores $\geq 31,8$ cm de diâmetro (diâmetro mínimo inventariado pelo RadamBrasil) e normalizado pela distribuição de diâmetro por hectare foi menor na floresta aberta (Tabela 4).

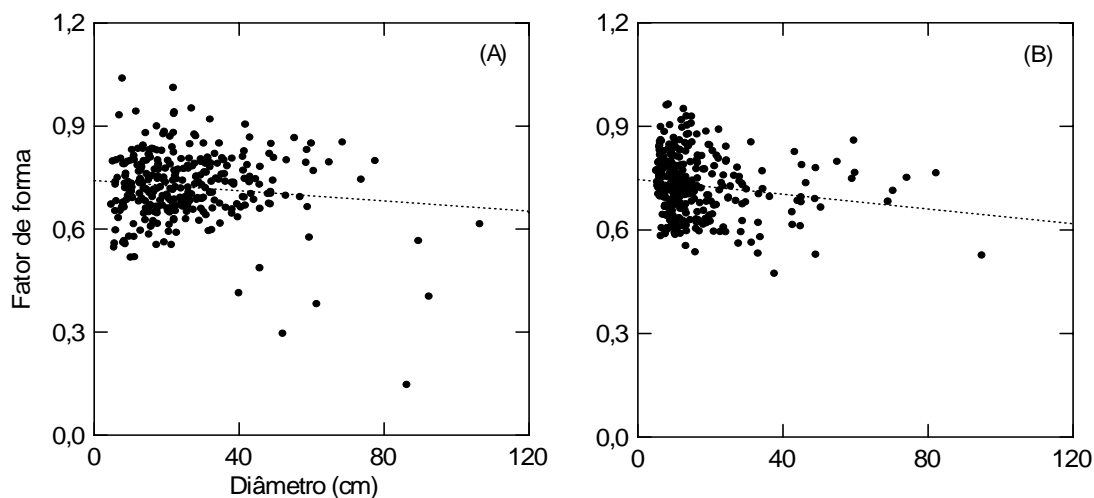


Figura 5. Afilamento do fuste (fator de forma) pelo tamanho da árvore em dois tipos de floresta: **(A)** Floresta densa, Amazônia central (CA) ($n = 299$) e **(B)** Floresta aberta, sul da Amazônia (SA) ($n = 300$). As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema. Casos dispersos em **(A)** são árvores com acentuadas irregularidades na forma do fuste (veja seção 4.3).

O fator de forma encontrado para árvores com diâmetro do fuste $\geq 31,8$ cm em floresta densa não difere significativamente dos valores adotados nas estimativas de volume do RadamBrasil (0,7) (one-sample t test, $p > 0,05$; Tabela 4). Considerando somente o fator de forma médio das árvores amostradas ($DAP \geq 31,8$ cm) em floresta aberta no SA, não há diferença significativa de 0,7 (one-sample t test, $p = 0,459$), mas quando normalizado para a frequência esperada por hectare, uma diferença estatística foi detectada (Tabela 4). Neste caso, os inventários de volume de madeira do RadamBrasil em florestas do tipo aberta foram superestimados por cerca de 5% na floresta aberta no sul da Amazônia onde o fator de forma médio é cerca de 0,66 (Tabela 4).

Tabela 4. Afilamento médio do fuste (fator de forma) em floresta densa na Amazônia central (CA) e em floresta aberta no sul da Amazônia (SA). A tabela apresenta médias para as árvores amostradas e médias normalizadas pela distribuição diamétrica esperada por hectare. Um inventário de 72 ha (Castilho et al., 2006) foi utilizado na CA no ajuste de classes diamétricas. No SA 11 ha (Feldpausch et al., 2005) foram usadas para árvores com diâmetros ≥ 10 cm e 30 ha (Pereira, 2005) para árvores com 5-10 cm de diâmetro. As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m no SA) ou logo acima de qualquer sapopema.

Tamanho da árvore (diâmetro em cm):	Floresta densa, CA						Floresta aberta, SA					
	(média \pm desvio padrão; número de árvores e comparação de médias ¹)											
	Árvores amostradas			Normalizado por inventários			Árvores amostradas			Normalizado por inventários		
$\geq 5,0$	0,721 \pm 0,101	303	Aa	0,713 \pm 0,099	1334	Aab	0,728 \pm 0,090	300	Aa	0,721 \pm 0,092	583	Aa
$\geq 10,0$	0,723 \pm 0,101	267	Aa	0,724 \pm 0,094	620	Aa	0,719 \pm 0,091	200	Aa	0,716 \pm 0,093	475	Aa
$\geq 31,8$	0,709 \pm 0,129	82	Aab*	0,709 \pm 0,129	96	Aab*	0,687 \pm 0,095	30	Aa*	0,664 \pm 0,098	57	Ab
$\geq 50,0$	0,655 \pm 0,205	20	Ab*	0,661 \pm 0,205	25	Ab*	0,726 \pm 0,090	10	Aa*	0,724 \pm 0,084	12	Aab*

¹ As mesmas letras minúsculas aparecendo na mesma coluna ou letras maiúsculas na mesma linha indica que os valores não diferem significativamente (Teste Tukey; $p > 0,05$).

*Indica que os valores não diferem significativamente do fator de forma (0,7) usado nas estimativas de volume do RadamBrasil (one-sample t test; p -value $> 0,05$).

Fator de expansão de volume (VEF)

O VEF correntemente adotado nas estimativas de biomassa é 1,25 para floresta densa e 1,5 para floresta não-densa. Estes valores são usados para adicionar o volume do fuste das árvores com diâmetro entre 10 a 30 cm (Brown and Lugo, 1992). Portanto, visto que os inventários de volume do RadamBrasil iniciam com árvores de 31,8 cm de diâmetro (1 m de circunferência), há uma lacuna para árvores de 30 a 31,7 cm de diâmetro. Isto significa que o volume dos fustes de cerca de 11 árvores não foram considerados, de acordo com o inventário de 72 ha realizado em floresta densa na Amazônia central (Castilho et al., 2006), o que seria equivalente a $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Neste estudo o volume do fuste das árvores com diâmetro de 10 a 31,7 cm foi estimado para florestas densa e aberta; por causa disto os valores de VEF reportados aqui são obviamente esperados ser maior que os valores da literatura que não incluem árvores com DAP de 30-31,7 cm. As estimativas foram obtidas a partir do volume do fuste corrigido para irregularidades e troncos ocos.

Em floresta densa na CA, árvores de 10 a 31,7 cm de diâmetro representam 53,7% do volume dos fustes das árvores $\geq 31,8$ cm de diâmetro. Portanto, o VEF estimado a partir do volume do fuste corrigido foi 1,537 quando normalizado pela distribuição de diâmetro esperada por hectare. Neste caso, o VEF (1,25) adotado correntemente nos modelos de biomassa para floresta densa estaria subestimado em cerca de 25%. No caso dos inventários em que as árvores foram amostradas a partir de 25 cm de diâmetro do fuste (tais como os inventários da FAO: Glerum, 1960; Glerum and Smitt, 1962; Heinsdijk, 1957, 1958) o valor apropriado do VEF seria 1,305.

Para floresta aberta no sul da Amazônia o volume do fuste estimado para árvores de 10 a 31,7 cm foi equivalente a 50,6 % do volume dos fustes de todas as árvores com diâmetro $\geq 31,8$ cm (quando normalizado pela distribuição de diâmetro por hectare). Portanto o valor apropriado do VEF é 1,506, similar ao valor comumente utilizado nas estimativas de biomassa. No caso dos inventários de árvores com diâmetro ≥ 25 cm, o valor de VEF encontrado foi 1,283. Neste tipo de floresta, para 6,7% das árvores amostradas o volume do fuste não foi corrigido para irregularidades e ocos no tronco devido à demanda operacional da companhia madeireira, proprietária da área de coleta.

Fator de expansão de biomassa (BEF)

O BEF (fator de expansão de biomassa) correntemente adotado nas estimativas de biomassa para floresta densa (biomassa dos fustes inventariados $\geq 190 \text{ Mg ha}^{-1}$) é 1,74, o qual

foi obtido por Brown et al. (1989) em parcelas que foram majoritariamente localizadas na Venezuela.

O relacionamento entre a biomassa da árvore estimada por um modelo desenvolvido na Amazônia central (Higuchi et al., 1998) com a biomassa do fuste (volume corrigido \times densidade de madeira) resulta em um valor de BEF de $1,621 \pm 0,415$ (média \pm d.p.; $n = 267$ árvores). Normalizado pela distribuição diamétrica por hectare o BEF é $1,635 \pm 0,441$. Os dois valores de BEF diferem estatisticamente do valor de 1,74 (one-sample t test, $p < 0,001$). O valor de BEF obtido a partir de 267 árvores amostradas neste estudo é similar à razão média entre o peso total da árvore e o peso do fuste ($\sim 1,64$) reportado para 315 árvores amostradas por Higuchi et al. (1998, p. 157). Considerando estes resultados, o BEF correntemente adotado nas estimativas de biomassa resulta em superestimativa de 6% da biomassa da copa das árvores em floresta densa na Amazônia central.

Em floresta aberta a biomassa das copas de 262 árvores foi diretamente pesada e um modelo linear foi desenvolvido para obter a biomassa das copas a partir de medidas de diâmetro somente (Tabela 2). Embora uma equação alométrica seja preferida, o valor de BEF de $1,580 \pm 0,357$ (média \pm d.p.; normalizado pela distribuição de diâmetro por hectare) pode ser utilizado em casos onde diâmetros de árvores individuais não são disponíveis. Como a biomassa dos fustes foi $\leq 190 \text{ Mg ha}^{-1}$, um valor de BEF foi estimado para as parcelas deste estudo usando a equação alométrica desenvolvida por Brown and Lugo (1992): $\text{BEF} = \exp(3,213 - 0,506 \times \ln(\text{biomassa dos fustes}))$. O valor de BEF encontrado foi 1,930, cerca de 18% maior que o valor de BEF reportado aqui.

Mapa de biomassa ajustado para a Amazônia brasileira

Novos dados de densidade de madeira reduzem incertezas na conversão do volume do fuste para a biomassa do fuste estimada para a Amazônia Brasileira como um todo. No caso das incertezas nos volumes reportados pelos inventários, correções não foram aplicadas para um menor fator de forma em floresta aberta porque está relacionado a troncos ocos nas árvores amostradas de tamanho intermediário (Figura 5B). Como não há dados sobre a relação da ocorrência de troncos ocos com o tamanho da árvore para assegurar que este efeito é esperado em larga-escala, não foi aplicado correções nas estimativas de biomassa para o menor fator de forma nas florestas abertas (veja a seção discussão). No entanto, superestimativas no volume do fuste (4,4% encontrada em floresta densa e 3,3% em floresta densa) pela fórmula adotada nos inventários do RadamBrasil, a qual inclui um fator de forma de 0,7, foram descontadas nos ajustes de biomassa porque novos valores de BEF foram

usados neste estudo. Este erro não tinha sido transferido para as estimativas de biomassa porque era assumido ser compensado pelas variáveis que adicionam a biomassa da copa (BEF) quando dados de volume são convertidos para biomassa (veja Nogueira et al., 2006, p. 19). Os novos valores de VEF foram aplicados para todos os tipos de florestas e o valor de BEF para floresta densa (1,635) foi aplicado para tipos de florestas com biomassa dos fustes $\geq 190 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em tipo de floresta não-densa o valor de BEF de 1,58 foi encontrado numa floresta com estoque de biomassa de 156 Mg ha^{-1} (peso seco) em todos os fustes $\geq 10 \text{ cm DAP}$. Assim, em tipos de floresta não-densa foi usado somente um valor de BEF de 1,58 para floresta com biomassa do fuste de $156 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 5\%$ (148,2 a $163,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), e nas florestas restantes foi aplicada a equação proposta por Brown and Lugo (1992) que relaciona o BEF à biomassa correspondente de volume inventariado. Isto foi adotado porque outros trabalhos nos trópicos e trabalhos posteriores sobre florestas nos Estados Unidos demonstraram que a magnitude do valor do BEF varia com o volume comercial por área, com maior valor de BEF para menores valores de volume, e os valores geralmente *decrecendo exponencialmente* a um constante BEF para maior volume (Brown, 2002). Se o valor do BEF de 1,58 é aplicado para parcelas com um estoque na biomassa do fuste menor que 156 Mg ha^{-1} , a biomassa pode ser sistematicamente subestimada.

A distribuição da biomassa sobre a Amazônia Brasileira é apresentada na Figura 6. A biomassa total (abaixo e acima do solo) para a Amazônia Brasileira usando os valores corrigidos é $125,4 \text{ Pg}$ ($=10^{15} \text{ g}$) de peso seco, ou $60,8 \text{ PgC}$ assumindo que 1 Mg de biomassa seca = $0,485 \text{ Mg C}$ (Silva, 2007). A biomassa acima do solo somente é $104,2 \text{ Pg}$ ($50,5 \text{ PgC}$). A biomassa total estocada e a biomassa acima do solo foram estimadas em 15 tipos de florestas para os nove estados da Amazônia Legal Brasileira (Tabelas 5 e 6). A média de biomassa por hectare para cada tipo de vegetação é também fornecida na Tabela 5. Considerando o desmatamento acumulado na Amazônia Brasileira até 2006 (Brasil, INPE, 2007), o estoque da biomassa seca foi reduzido para $113,3$ e $94,2 \text{ Pg}$ (ou $54,9$ e $45,6 \text{ PgC}$), respectivamente para abaixo e acima do solo juntas e somente acima do solo, excluídas áreas não-florestais ou formações secundárias. Estes resultados têm implicações para biomassa e emissão de carbono em todos os tipos de florestas quando comparado com estimativas prévias.

Tabela 5. Biomassa total média (abaixo + acima do solo), a biomassa acima do solo por tipo de floresta (peso seco em Mg ha⁻¹) e o estoque total por estado ($\times 10^6$ Mg) na Amazônia Legal Brasileira no momento dos inventários do RadamBrasil, portanto antes que o desmatamento intensivo tenha ocorrido. Valores entre parênteses [valor] significam somente biomassa acima do solo. Todos os outros valores significam biomassa abaixo + acima do solo. Formações secundárias e vegetações não-florestais não foram consideradas.

Tipo de floresta (código do IBGE)	Biomassa média (Mg ha ⁻¹)	Acre	Amazonas	Amapá	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins	Total
Ombrófila aberta aluvial (Aa)	357,8 [298,4]	453,878 [378,527]	2628,872 [2192,441]	29,953 [24,980]		10,425 [8,695]	3,068 [2,559]	179,527 [149,723]		10,739 [8,956]	3316,462 [2765,881]
Ombrófila aberta de terras baixas (Ab)	363,4 [303,1]	4230,781 [3528,755]	8244,753 [6876,677]		2,680 [2,235]		29,563 [24,657]	1516,546 [1264,901]	9,952 [8,301]		14034,274 [11705,526]
Ombrófila aberta submontana (As)	336 [280,2]		1688,396 [1408,002]	18,651 [15,554]	43,295 [36,105]	3370,779 [2810,989]	8995,234 [7501,383]	2954,668 [2463,982]	340,164 [283,672]	513,068 [427,862]	17924,254 [14947,548]
Sazonal decídua submontana (Cs)	290,1 [241,9]					259,290 [216,209]	100,996 [84,216]			43,249 [36,064]	403,536 [336,488]
Ombrófila densa aluvial (Da)	360,8 [299,3]	21,282 [17,654]	4427,041 [3672,432]	217,135 [180,124]	29,309 [24,313]	177,148 [146,952]	2079,974 [1725,433]	71,020 [58,914]	108,029 [89,615]	9,829 [8,153]	7140,766 [5923,590]
Ombrófila densa de terras baixas (Db)	384,5 [318,9]	611,706 [507,342]	25590,142 [21224,177]	796,717 [660,788]	336,086 [278,746]		6215,557 [5155,113]	69,043 [57,263]	381,177 [316,144]		34000,426 [28199,573]
Ombrófila densa montana (Dm)	361,3 [299,7]		414,986 [344,233]				32,419 [26,892]		922,239 [765,002]		1369,644 [1136,126]
Ombrófila densa sub-montana (Ds)	385,3 [319,6]	30,798 [25,547]	7694,882 [6382,778]	3132,182 [2598,093]	633,965 [525,864]	1994,164 [1654,127]	17294,611 [14345,595]	435,885 [361,560]	3133,542 [2599,221]	39,105 [32,437]	34389,134 [28525,220]
Aluvial sazonal semidecídua (Fa)	283,4 [236,4]				0,474 [0,395]	565,080 [471,365]	24,166 [20,158]	9,578 [7,990]	19,671 [16,409]	150,606 [125,629]	769,574 [641,946]
Sazonal semidecídua em terras baixas (Fb)	309,3 [258]					327,601 [273,265]		46,747 [38,993]			374,347 [312,259]
Sazonal semidecídua submontana (Fs)	315,7 [263,3]				177,145 [147,743]	5298,019 [4418,652]	317,448 [264,758]	252,242 [210,375]	438,728 [365,908]	8,973 [7,484]	6492,555 [5414,918]
Contato campina / Floresta ombrófila (LO)	384,6 [320,8]		468,644 [390,903]			0,260 [0,217]	3,857 [3,217]		246,608 [205,699]		719,370 [600,036]
Contato floresta ombrófila/Floresta sazonal (ON)	310,6 [259,1]					1142,401 [952,981]	10,584 [8,829]	99,742 [83,204]	30,902 [25,778]		1283,629 [1070,793]
Contato savanna/Floresta sazonal (SN)	302,7 [252,4]				738,387 [615,689]	1244,575 [1037,762]	28,094 [23,425]	27,929 [23,288]	0,492 [0,410]	261,612 [218,139]	2301,089 [1918,714]
Contato savana/floresta ombrófila (SO)	314,3 [262,1]		75,873 [63,272]	8,750 [7,296]	3,460 [2,886]	173,921 [145,035]	223,638 [186,495]	301,178 [251,157]		119,260 [99,453]	906,079 [755,594]
Total acima do solo		[4457,825]	[42554,913]	[3486,835]	[1633,975]	[12136,249]	[29372,729]	[4971,350]	[4676,158]	[964,177]	[104254,211]
Total (abaixo e acima do solo)		5348,444	51233,588	4203,387	1964,801	14563,662	35359,207	5964,104	5631,504	1156,440	125425,138

Tabela 6. Estimativa de estoque da biomassa seca ($\times 10^6$ Mg) por estado e tipo de floresta na Amazônia Legal Brasileira, excluindo áreas desmatadas até 2006 (Brasil, INPE, 2007). Valores entre parênteses [valor] significam somente a biomassa acima do solo. Todos os outros valores significam biomassa abaixo + acima do solo. Formações secundárias e vegetação não-florestal não foram consideradas. O tipo de floresta está na coluna denominada “código IBGE” (veja Tabela 5 para correspondência).

Código IBGE	Acre	Amapá	Amazonas	Maranhão	Mato grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins	Total
	394,288	27,180	2573,827		10,149	2,466	172,890		7,350	3188,151
Aa	[328,830]	[22,668]	[2146,534]		[8,464]	[2,057]	[144,188]		[6,130]	[2658,872]
Ab	4105,243		8172,446	0,500		23,820	1312,795	9,903		13624,707
	[3424,048]		[6816,369]	[0,417]		[19,867]	[1094,959]	[8,260]		[11363,920]
As		17,994	1658,517	20,518	2911,118	8237,571	2299,615	323,842	264,490	15733,665
		[15,006]	[1383,084]	[17,110]	[2427,664]	[6869,546]	[1917,715]	[270,061]	[220,566]	[13120,753]
Cs					163,691	96,389			43,249	303,330
					[136,494]	[80,374]			[36,063]	[252,932]
Da	20,524	212,723	4332,541	21,446	162,814	1994,710	66,093	107,652	8,667	6927,170
	[17,026]	[176,463]	[3594,039]	[17,791]	[135,062]	[1654,702]	[54,827]	[89,303]	[7,190]	[5746,402]
Db	494,833	778,474	24093,628	297,693		5459,001	64,967	380,815		31569,409
	[410,409]	[645,657]	[19982,985]	[246,903]		[4527,635]	[53,883]	[315,844]		[26183,315]
Dm			414,784			32,418		920,949		1368,151
			[344,065]			[26,891]		[763,931]		[1134,887]
Ds	30,777	3124,909	7639,255	453,528	1295,669	15898,043	300,742	3049,585	9,092	31801,601
	[25,529]	[2592,060]	[6336,636]	[376,194]	[1074,736]	[13187,165]	[249,461]	[2529,581]	[7,541]	[26378,904]
Fa				0,138	525,633	20,590	8,086	19,301	146,288	720,035
				[0,115]	[438,460]	[17,175]	[6,745]	[16,100]	[122,027]	[600,622]
Fb					253,719		32,892			286,610
					[211,637]		[27,436]			[239,073]
Fs				152,774	4227,746	308,664	204,652	381,344	8,338	5283,518
				[127,417]	[3526,023]	[257,432]	[170,684]	[318,049]	6,954	[4406,558]
LO			442,504		0,244	1,820		244,811		689,379
			[369,098]		[0,204]	[1,518]		[204,200]		[575,020]
ON					110,917	0,468	7,654	7,192		126,232
					[92,526]	[0,390]	[6,385]	[6,000]		[105,301]
SN				694,400	477,601	18,100	12,035	0,492	242,215	1444,844
				[579,011]	[398,238]	[15,093]	[10,035]	[0,410]	[201,966]	[1204,753]
SO		7,860	46,762	2,686	47,273	52,652	125,757		12,727	295,717
		[6,555]	[38,996]	[2,240]	[39,422]	[43,908]	[104,871]		[10,613]	[246,604]
Total	5045,664	4169,139	49374,264	1643,682	10186,575	32146,713	4608,178	5445,887	742,417	113362,519
	[4205,842]	3458,409	[41011,808]	[1367,197]	[8488,931]	[26703,753]	[3841,188]	[4521,738]	[619,051]	[94217,917]

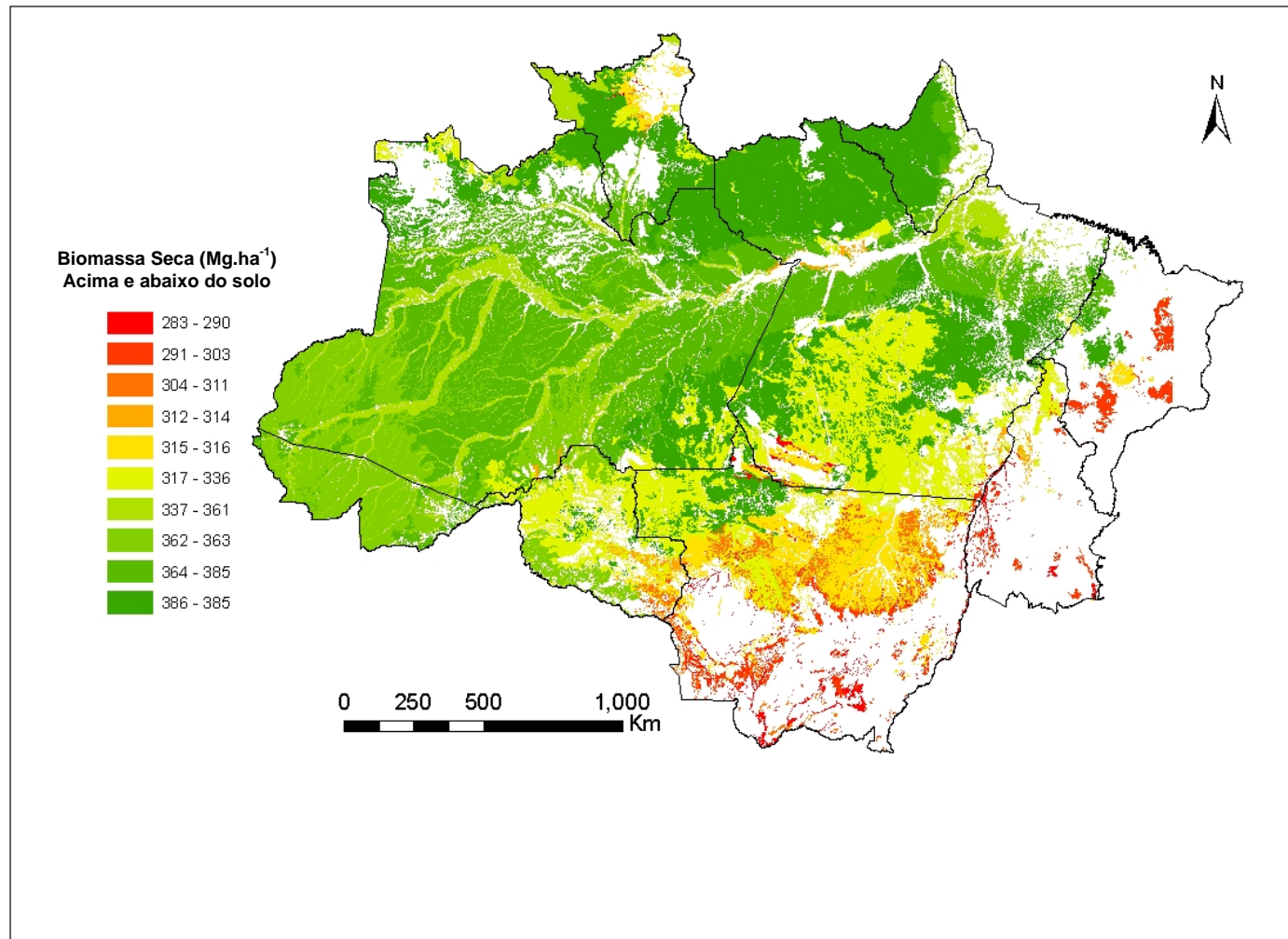


Figura 6. Mapa de biomassa abaixo e acima do solo (peso seco) para a Amazônia Legal Brasileira baseado em 2860 parcelas inventariadas pelo Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983). Estas estimativas não incluem savana, *campinarana*, formações secundárias ou pioneiras. A escala de cores do mapa de biomassa está de acordo à classificação *Jenks natural breaks*.

Discussão

Equação alométrica de biomassa desenvolvida no sul da Amazônia

Apesar de várias equações alométricas terem sido desenvolvidas em florestas da Amazônia (Araújo et al., 1999; Chambers et al., 2001; Higuchi et al., 1998; Overman et al., 1994; Santos, 1996), não havia sido desenvolvidas equações baseadas em medições diretas em tipos de floresta não-densa, que são precisamente onde o desmatamento tem historicamente predominado (Brasil, INPE, 2007). Este é o caso da parte sul da Amazônia Brasileira, onde florestas abertas e zonas de contato (ecótonos) sobre solos férteis prevaescem (Brasil, IBGE, 1997). A nova equação proposta por este estudo é a primeira equação desenvolvida a partir de árvores diretamente pesadas em florestas no sul da Amazônia. Esta equação torna possível obter acuradas estimativas de biomassa da árvore usando somente o diâmetro. Esta é uma importante vantagem para uso prático. Além disso, os modelos previamente publicados que teoricamente permitem estimar a biomassa da árvore para qualquer tipo de floresta, por empregarem altura e densidade de madeira como variáveis de entrada, produziram maiores erros que a equação desenvolvida neste estudo.

Os resultados deste estudo demonstram que as estimativas de biomassa obtidas a partir de equações desenvolvidas na Amazônia central resultam em superestimativa se aplicadas no sul da Amazônia (Cummings et al., 2002). No entanto, se correções para baixo devido a menor densidade de madeira e altura são aplicadas, a biomassa será subestimada (veja Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006; Nogueira et al., 2008). A subestimativa da biomassa por hectare devido a correções da densidade da madeira (como em Malhi et al., 2006) é próximo ao valor de superestimativa se a fórmula de Higuchi et al. (1998) é aplicada sem correções para densidade de madeira. Os resultados também indicam que as estimativas de biomassa a partir de equações alométricas quadráticas desenvolvidas por Brown (1997) implicariam numa superestimativa de 17 Mg ha^{-1} em florestas abertas no sul da Amazônia (Feldpausch et al., 2005). Uma equação linear com somente diâmetro como variável de entrada (*input variable*), publicada por Brown (1997) para floresta úmida, e a equação desenvolvida por Overman et al. (1994) e Chave et al. (2005) que necessita de diâmetro, altura e densidade de madeira, resultaram em razoáveis estimativas de biomassa por hectare. Surpreendentemente, as equações desenvolvidas por Chave et al. (2005) e Overman et al. (1994) demonstram um ajuste bastante similar e conseqüentemente, produzem similar estimativas de biomassa, embora a equação de Chave et al. tenha sido desenvolvida a partir de 2.410 árvores enquanto a equação de Overman et al. a partir de somente 54 árvores. Estas duas equações resultaram em diferenças muito pequenas, basicamente devido a árvores menores. Isto parece reforçar o

argumento que é mais razoável desenvolver uma equação alométrica regional (Brown, 2002) que um ajuste da biomassa de árvores a partir de um amplo conjunto de dados (Chave et al., 2005), porque apesar de uma melhor descrição teórica da relação escalar entre *Massa* ∝ *Diâmetro*, o ajuste a partir de um conjunto de dados que é agrupado a partir de várias regiões podem não refletir com acuracidade a verdadeira biomassa das árvores em uma dada região.

Equações alométricas para estimativas de volume do fuste em florestas densa e aberta na Amazônia: um modo alternativo para evitar erros por estimativas de altura, afilamento, irregularidades e troncos ocos

As equações de volume desenvolvidas na Amazônia para estimar o fuste comercial das árvores geralmente ignoraram árvores não-comerciais ou com o fuste oco ou ainda com irregularidades (formas não-circulares ou protuberâncias), que são também denominados como fustes ‘fenestrados’ ou ‘acanalados’ de acordo com Ribeiro et al. (1999, p. 27). Um largo inventário na Amazônia central (72 ha; Castilho et al., 2006) tem demonstrado que $9,7 \pm 0,7$ árvores/ha (média \pm d.p.; $DAP \geq 10$ cm) possuem a forma do fuste com acentuadas irregularidades (*Aspidosperma marckgravianum*, *A. nitidum*; *Swartzia polyphylla*, *S. reticulata*, *S. schomburgkii*) ou ‘fenestrado’ (incluindo *Minquartia guianensis*; *Geissospermum argenteum*, *G. urceolatum*). Estas árvores podem implicar em um substancial viés nas estimativas de volume, especialmente quando grandes árvores são incluídas (Nogueira et al., 2006). Considerando as espécies citadas acima, a média de indivíduos com $DAP \geq 40$ cm foi 1,6/ha (d.p. = 1,8). Estes argumentos são reforçados se estas ou outras espécies são ocas e/ou possuem troncos irregulares. De acordo com Ribeiro et al. (1999), formas irregulares do fuste ocorrem em várias famílias na Amazônia, tais como Apocynaceae (*Aspidosperma nitidum* Benth.), Olacaceae (*Minquartia guianensis* Aubl.), Leguminosae (*Swartzia* sp.), Euphorbiaceae (*Pausandra macropetala* Ducke), Melastomataceae (*Miconia splendens* Griseb) e Rubiaceae (*Amaioua guianensis* Aubl.).

Modelos desenvolvidos anteriormente na Amazônia central para estimar o volume do fuste podem ter superestimado a variável dependente se eles não incluíram árvores com irregularidades ou troncos ocos. Os erros podem estar presentes nas estimativas da área da seção transversal do fuste, que é frequentemente tratada como o volume ‘real’ e tem sido tradicionalmente obtido usando a fórmula de Smalian sem correções para fustes irregulares ou ocos. A fórmula de Smalian é usada como uma linha de base no desenvolvimento e validação de modelos de volume (Fernandes et al., 1983, p. 539; Higuchi and Ramm, 1985, p. 35; Moura, 1994, p. 29; Ribeiro, 1996, p. 23). Estes erros podem ter sido eliminados ou

minimizados nos modelos que foram desenvolvidos ou testados usando árvores que foram livres de defeitos, tais como troncos ocos e protuberâncias, como assumido por Fernandes et al. (1983, p. 539). Possivelmente, os erros seriam menores quando estes modelos são usados nas estimativas de madeira comercial, os quais utilizam espécies com fustes que são mais regulares que o normal. Estudos que estimam a biomassa de todas as árvores em um tipo de floresta a partir de equações de volume desenvolvidas para árvores comerciais resultariam em superestimativa. Como muitos dos dados obtidos foram coletados com o propósito de exploração comercial de madeira, este viés pode está presente em estudos que ajustam modelos de biomassa a partir desse conjunto de dados.

Equações alométricas para volume do fuste que incluem correções para troncos com irregularidades ou oco juntamente com estimativas consistentes de densidade média de madeira (Nogueira et al., 2005) podem ajudar a reduzir as incertezas existentes quanto a magnitude de emissões de gases de efeito estufa por desmatamento e outras mudanças de uso da terra na Amazônia. Estas equações permitem estimativas ser baseadas sobre uma completa sequência de passos de cálculo, iniciando a partir das medidas de árvores para estimar o volume do fuste, então aplicando correções apropriadas para troncos ocos ou irregulares, convertendo para biomassa do fuste com valores de densidade corretamente ajustados, e adicionando estimativas para árvores abaixo do mínimo pesquisado e para componentes não-florestais. Em adição, o uso de equações alométricas para volume do fuste que incluem correções para troncos irregulares e ocos pode ajudar a resolver discrepâncias entre medidas de diâmetro e altura do fuste reportadas nos volumes do RadamBrasil. É necessário salientar que estes métodos são necessários para avaliar os estoques de carbono e emissão por desmatamento e que a tarefa de detectar mudanças de biomassa na floresta em pé requer diferentes métodos baseados em monitoramento detalhado de árvores individuais (veja Fearnside, 2004).

Fator de forma: afilamento médio dos fustes em florestas densa e aberta na Amazônia e as implicações para estimativas de biomassa

O método adotado neste estudo para calcular o fator de forma permite que uma estimativa adequada do afilamento médio do fuste seja obtida. Se medições convencionais são usadas, o fator de forma médio é encontrado ser maior que os fatores derivados a partir da relação entre o volume corrigido do fuste e o volume de um cilindro calculado a partir de medições convencionais de diâmetro. Enquanto que com o método adotado aqui o fator de forma tende a diminuir com o tamanho da árvore, medidas não-corrigidas do fator de forma

tende a aumentar com o tamanho da árvore. Isto é esperado porque erros nos atributos biométricos tendem a aumentar com o tamanho da árvore (Nogueira et al., 2006) devido a irregularidades e maior frequência de troncos ocos. Para floresta densa na Amazônia central o fator de forma apresentado neste estudo (0,709), baseado no relacionamento entre o volume ‘corrigido’ e o volume a partir de medições convencionais, concorda com o fator de forma usado pelo Projeto RadamBrasil (0,70). Contudo, o fator de forma foi encontrado ser menor em árvores na floresta aberta porque é menor em árvores de tamanho intermediário (Tabela 4; Figura 5B). Ao analisar as árvores em floresta aberta, foi notado que cerca de 36% das árvores com diâmetro do fuste $\geq 31,8$ cm têm espaços ocos no tronco, o que sugere que a ocorrência de troncos ocos explica um menor fator de forma em árvores de tamanho intermediário, particularmente aquelas com DAP 31,8 a 49 cm. O fator de forma encontrado em floresta aberta usando medições não-corrigidas foi $0,760 \pm 0,075$ (média \pm d.p., $n=38$; árvores $\geq 31,8$ cm DAP); o fator de forma aumenta com o tamanho da árvore (0,745 e 0,781 para árvores ≥ 10 e ≥ 50 cm, respectivamente). Estes dados confirmam que a diminuição no fator de forma médio a partir de medições corrigidas em árvores de tamanho intermediário é devido a troncos ocos. Por esta razão a diferença de 5% entre o fator de forma médio em floresta aberta e o valor de 0,7 usado pelo Projeto RadamBrasil não foi considerada no ajuste de biomassa. A diferença é substancial e tem efeito sobre a biomassa, portanto tem importantes implicações para a emissão de carbono, mas não há informação acerca da distribuição de troncos ocos por tamanho de árvores que permita um ajuste seguro sobre a biomassa. Estes resultados também reforçam a necessidade de avaliar se um simples fator de forma é adequado para uso em todas as árvores e para toda a bacia Amazônia.

Um estudo anterior na Amazônia central reporta 0,75 como fator de forma médio (Moura, 1994; DAP ≥ 45 cm, $n = 752$ árvores), obtido a partir de medições convencionais. Usando a mesma metodologia como Moura (1994), foi encontrado o valor médio de $0,789 \pm 0,090$ (média \pm d.p.; $n = 33$; DAP ≥ 45 cm) para árvores amostradas neste estudo, enquanto que usando metodologia de medições ‘corrigidas’ a média foi $0,680 \pm 0,170$. Os resultados, juntos com os valores reportados na Tabela 4, sugerem que para árvores maiores na Amazônia central, o efeito de irregularidades do fuste e troncos ocos exerce uma forte influência sobre a estimativa do fator de forma médio. Apesar de árvores grandes estocarem uma porção substancial da biomassa, elas têm pouca influência sobre o fator de forma médio, o qual é fortemente influenciado pelo grande número de árvores pequenas. Eliminando as árvores grandes (DAP ≥ 50 cm; $n = 20$), o fator de forma médio aumenta em somente 2,5%, ao tempo que ao considerar somente árvores com DAP $\geq 31,8$ cm a média do fator de forma eleva de

0,709 a 0,727 (2,5%). Estas mesmas árvores são equivalentes a 37% do volume dos fustes de todas as árvores com $DAP \geq 10$ cm de diâmetro. Considerando somente o fator de forma de árvores com $DAP \geq 50$ cm, há uma superestimativa de ao menos 6% referente ao fator de forma de 0,7 usado na fórmula do Projeto RadamBrasil. O uso de um fator de forma médio sem ponderar pelo volume proporcional das árvores maiores resultaria em erros na estimativa do volume por hectare.

No caso das estimativas publicadas pelo Projeto RadamBrasil, é possível que o erro no fator de forma para árvores grandes está sendo compensado pela subestimativa do volume das árvores com DAP entre 31,8 a 49 cm. Similarmente, em floresta aberta o maior fator de forma das árvores maiores pode compensar o menor fator de forma das árvores de tamanho intermediário. Por todas estas razões, nos ajustes de biomassa deste estudo o fator de forma médio usado na floresta densa pelo Projeto RadamBrasil foi considerado como sem viés.

Fator de expansão de volume (VEF)

A subestimativa no valor do fator de expansão de volume (VEF) proposto por Brown et al. (1989) e Brown and Lugo (1992) foi encontrado somente no tipo de floresta densa. Isto é confirmado pelos resultados de estoque de biomassa em 20 parcelas de 1 hectare na Amazônia central (Nascimento and Laurance, 2002; Tabela 3), onde árvores com $DAP \geq 30$ cm estocam somente 65,25% da biomassa das árvores com $DAP \geq 10$ cm. Neste caso, o VEF ($34,75/65,25 = 0,532$) seria 1,532, similar ao valor de 1,537 encontrado neste estudo. Em outro amplo estudo de biomassa (72 ha) conduzido na Amazônia central (Castilho et al., 2006) similarmente indica que a biomassa estocada nas árvores com DAP entre 10 a 30 cm foi 36,2%, enquanto em árvores ≥ 30 cm de DAP continha 63,8% da biomassa de todas as árvores com $DAP \geq 10$ cm. O VEF neste caso seria 1,567. Juntos, os resultados reforçam o fato que ajustes são necessários nas estimativas de biomassa em floresta densa devido a subestimativa do valor de VEF comumente usado.

Fator de expansão de biomassa (BEF)

O fator de expansão de biomassa (BEF) está relacionado a variáveis estruturais da floresta porque o BEF varia como uma função da biomassa dos fustes (Brown and Lugo, 1992). A variação regional na biomassa da floresta Amazônica pode afetar diretamente o valor de BEF. A variável BEF leva em consideração a observação de que árvores grandes têm relativamente mais biomassa nos fustes que árvores menores (Houghton et al., 2001). O BEF proposto por Brown et al. (1989) foi estimado assumindo que uma grande parte da biomassa

está estocada nas árvores maiores. As estimativas para árvores grandes é a principal diferença entre os modelos de Brown et al. (1989) e aqueles desenvolvidos na Amazônia central por Chambers et al. (2001) e Higuchi et al. (1998). Inventários em larga-escala na Amazônia central indicam que árvores com DAP ≥ 60 cm estocam entre 13-18% da biomassa de todas as árvores ≥ 10 cm de DAP (Nascimento and Laurance, 2002; Castilho et al., 2006), enquanto em outras regiões da Amazônia há um maior estoque de biomassa em árvores maiores. Por exemplo, Chave et al. (2001; Tabela 3) encontrou 39% da biomassa em somente 12 árvores com DAP ≥ 70 cm, os quais representam somente 2,3% das árvores ≥ 10 cm de DAP. A maior parte da biomassa nas florestas da Amazônia central seria encontrada em árvores de tamanho intermediário, o que pode explicar o valor do BEF sendo menor que nas parcelas utilizadas por Brown et al. (1989). Além disso, Brown (1997) propôs uma nova equação para substituir a anterior (i.e., Brown et al., 1989) que tinha sido usada na derivação da estimativa do BEF, o qual ainda assim continua ser atualmente usado nas estimativas de biomassa baseadas em volume inventariado de madeira.

Significância para a biomassa na Amazônia Brasileira

Recentes estudos têm indicado ajustes para baixo nas estimativas de biomassa e emissão de carbono na Amazônia Brasileira devido a correções na conversão do volume do fuste inventariado para a biomassa dos fustes (Nogueira et al., 2005, 2007; Fearnside, 2007). No caso dos resultados reportados neste estudo, as correções são derivadas para os dados de volume de madeira inventariado e para os fatores usados para contabilizar pequenas árvores e a biomassa das copas. O mapa de biomassa apresentado neste estudo a partir dos inventários em larga-escala demonstra de modo geral, menor estoque de biomassa, quando comparado a estudos prévios. O padrão de distribuição espacial da biomassa reportada neste estudo é similar àquelas reportadas por Saatchi et al. (2007) para florestas da região centro-sul (noroeste do Mato Grosso e sul do Pará) e nordeste da Amazônia brasileira (Amapá e noroeste do Pará). As estimativas de Saatchi et al. (2007) foram obtidas a partir de dados mensurados em 544 parcelas distribuídas por toda a Amazônia, juntamente com calibrações baseadas em classificação da floresta por sensoriamento remoto. A metodologia é portanto distinta daquela adotada neste estudo, que se baseou em 2860 parcelas exclusivamente obtidas na Amazônia brasileira, juntamente com ajustes para alometria e densidade obtidas em diferentes florestas. O mapa demonstrado neste estudo evidencia razoável coerência entre a biomassa por tipo de vegetação e topografia ao longo da bacia, especialmente nas áreas críticas para desmatamento na borda sul da floresta. Em áreas de maior altitude no sul e sudoeste da Amazônia (nos

estados do Pará, Mato Grosso, Rondônia e parte do Acre), onde o desmatamento está concentrado, os resultados claramente demonstram menos biomassa. No estado do Acre, a biomassa está possivelmente superestimada em florestas dominadas por bambu, visto que não foram diferenciadas de outras classes de vegetação. Os resultados causam substanciais impactos sobre as estimativas de biomassa e emissão de carbono a partir de inventários de volume da madeira da floresta na Amazônia Brasileira. Também implicam em mudanças nas estimativas de biomassa derivadas de equações alométricas, visto que uma nova equação alométrica é proposta para o sul da Amazônia (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006). Os ajustes reduzem discrepâncias entre estudos desenvolvidos usando diferentes métodos, e reduz as incertezas para estimativas de biomassa na Amazônia, quando é obtida por volume inventariado de madeira ou através de equações alométricas.

Conclusão

As novas equações alométricas desenvolvidas neste estudo permitem que estimativas consistentes de biomassa e volume sejam obtidas utilizando somente o diâmetro, que é a variável mais facilmente medida no campo. Os resultados indicam maior estocagem de biomassa nas copas das árvores (quando comparado com o fuste da mesma árvore) no sul da Amazônia (SA) que na Amazônia central (CA), devido os fustes ser mais curto para um dado diâmetro nas árvores no SA. Os resultados confirmam que equações prévias desenvolvidas na CA superestimam a biomassa se aplicada para árvores no SA. Foi encontrado que simples correções sobre equações alométricas da CA para densidade de madeira e fustes mais curtos resultam em biomassa subestimada. As relações alométricas na CA e SA foram usadas para ajustar as estimativas regionais de biomassa a partir de inventários em larga-escala de volume de madeira. Foi verificado que os atuais valores para adicionar a biomassa das copas (fator de expansão de biomassa) na floresta densa resultam em uma superestimativa de 6% e os valores adotados para adicionar pequenas árvores (fator de expansão de volume) estão subestimados em 25%. Para o tipo de floresta aberta estudada aqui, as equações que têm sido usadas para adicionar a biomassa das copas superestimam este componente em cerca de 18%, por isso outra equação alométrica foi proposta. Finalmente, todas as correções foram aplicadas para ajustar as estimativas e produzir um mapa de biomassa para a Amazônia Brasileira a partir de 2860 parcelas inventariadas pelo RadamBrasil. O estoque total de carbono (abaixo e acima do solo) estimado para o período dos inventários foi 60,8 Pg ($=10^{15}$ g) para a Amazônia Brasileira como um todo (excluindo áreas não-florestadas). O desmatamento até 2006 reduziu o estoque de carbono na biomassa da floresta para 54,9 PgC.

CONCLUSÃO GERAL

O Capítulo I conclui que os valores médios de densidade de madeira para a região Amazônica como um todo que têm sido amplamente usados em estimativas de biomassa foram superestimados, provavelmente porque eles foram obtidos usando um conjunto de dados com incertezas na metodologia e que foram restritos quanto ao tipo de floresta. A ausência de um conjunto de dados de densidade de madeira diretamente amostrados nos tipos de florestas submetidas a desmatamento é uma importante causa de emissão de carbono superestimada para a Amazônia brasileira. Considerando os tipos de floresta e a composição de espécies para florestas no sul e sudoeste da Amazônia, um ajuste para baixo de 13,6% é necessário relativo à média utilizada em muitas estimativas prévias. Para a Amazônia brasileira como um todo, a densidade de madeira média previamente estimada por Fearnside (1997) deve ser diminuída por 7%, para 0,642. Para a densidade de madeira média ponderada pelo o volume desmatado em 1990 em cada tipo de floresta o valor é diminuído por 9% para 0,631. O impacto sobre as estimativas de biomassa e sobre emissão de carbono é substancial porque o maior ajuste é necessário exatamente nos tipos de florestas submetidas a maior desmatamento. Estimativa de emissão líquida comprometida para a Amazônia brasileira em 1990 que já incluem valores de densidade de madeira ponderadas pelo volume de cada espécie presente nas localizações submetidas a desmatamento (*e.g.*, Fearnside, 2000a,b com ajuste descrito em Fearnside and Laurance, 2004) seria reduzido por 10,7%: $23,4-24,4 \times 10^6$ Mg CO₂-equivalente C/ano para cenários de gases-traço alto e baixo, respectivamente. O impacto é suficiente para afetar o balanço global de carbono. Estes novos dados ajudam a reduzir incertezas em vários estudos prévios de biomassa e no balanço de carbono para a Amazônia.

O Capítulo II demonstra que apesar da importância de correções no conjunto de dados de densidade do cerne para aperfeiçoar estimativas de biomassa e fluxo de carbono, regressões lineares desenvolvidas em floresta densa não descrevem adequadamente a variação radial nas árvores de floresta aberta, no sul da Amazônia (SA). Regressões de cerne a partir de floresta densa tende a superestimar a densidade média do disco ou a média do fuste em floresta aberta. Entretanto, para correções da variação ao longo do fuste em floresta aberta, a regressão a partir de floresta densa fornece acurada correção da densidade média da madeira. Duas novas regressões descritas neste estudo permitem a densidade básica da madeira ser obtida a partir da densidade verde média do fuste (tanto a partir de amostras feitas na altura do peito ou a partir da média do fuste). As equações podem também ser útil em estudos de estocagem de água em árvores. Em floresta aberta no sul da Amazônia o conteúdo de

umidade do fuste é significativamente maior que em floresta densa na Amazônia central. Para a normalização da densidade da madeira a partir de uma variedade de conjunto de dados uma equação é necessária que diretamente relaciona a densidade de amostras obtidas a partir da madeira do interior da árvore ('*cores*') feitas com perfurações ('*increment borers*') para densidade da madeira do disco (cerne, alburno e casca).

O Capítulo III conclui que no sudoeste da Amazônia, em floresta aberta dominada por bambu e floresta densa sem bambu, e em florestas abertas no sul da Amazônia, as árvores são mais baixas que em floresta densa na Amazônia central. A diferença de altura foi maior para pequenas árvores. De modo geral, o expoente escalar de $2/3$ predito pela teoria metabólica ecológica foi violado por árvores grandes nas quatro florestas estudadas. Quando a equação de Higuchi et al. (1998), que foi desenvolvida em floresta densa, é aplicada para estimativas de biomassa em florestas abertas do sul e sudoeste da Amazônia, os resultados devem ser corrigidos para efeitos de altura das árvores e menor densidade de madeira. Juntos, os dois efeitos representam uma redução total de 39% em floresta aberta dominada por bambu, 22% em floresta densa sem bambu (ambas no sudoeste da Amazônia) e 16% em floresta aberta no sul da Amazônia (respectivamente, 76, 65 e 45 Mg ha⁻¹ a menos de biomassa seca que a floresta densa na Amazônia central). Considerando somente o efeito de altura, a biomassa estimada é reduzida por 21,5, 18,5 e 10,3 Mg ha⁻¹, respectivamente, no sudoeste da Amazônia em floresta dominada por bambu, em floresta densa também no sudoeste da Amazônia e em floresta aberta no sul da Amazônia. Revisões são necessárias nas estimativas de biomassa que têm sido feitas usando equações alométricas desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central. Isto implica em menor emissão de gases de efeito estufa do que previamente estabelecido para o desmatamento na Amazônia brasileira, o qual está concentrado em tipos de florestas não-densas no 'arco do desmatamento' tais como as mencionadas neste estudo.

Finalmente, o Capítulo IV fornece ajustes nas estimativas de biomassa para toda a Amazônia. As novas equações alométricas desenvolvidas neste estudo permitem que estimativas consistentes de biomassa e volume sejam obtidas utilizando somente o diâmetro, que é a variável mais facilmente medida no campo. Os resultados indicam maior estocagem de biomassa nas copas das árvores (quando comparado com o fuste da mesma árvore) no sul da Amazônia (SA) que na Amazônia central (CA), devido os fustes ser mais curto para um dado diâmetro nas árvores no SA. Os resultados confirmam que equações prévias desenvolvidas na CA superestimam a biomassa se aplicada para árvores no SA. Foi encontrado que simples correções sobre equações alométricas da CA para densidade de madeira e fustes mais curtos resultam em biomassa subestimada. As relações alométricas na

CA e SA foram usadas para ajustar as estimativas regionais de biomassa a partir de inventários em larga-escala de volume de madeira. Foi verificado que os atuais valores para adicionar a biomassa das copas (fator de expansão de biomassa) na floresta densa resultam em uma superestimativa de 6% e os valores adotados para adicionar pequenas árvores (fator de expansão de volume) estão subestimados em 25%. Para o tipo de floresta aberta estudada aqui, as equações que têm sido usadas para adicionar a biomassa das copas superestimam este componente em cerca de 18%, por isso outra equação alométrica foi proposta. Finalmente, todas as correções foram aplicadas para ajustar as estimativas e produzir um mapa de biomassa para a Amazônia Brasileira a partir de 2860 parcelas inventariadas pelo RadamBrasil. O estoque total de carbono (abaixo e acima do solo) estimado para o período dos inventários foi 60,8 Pg ($=10^{15}$ g) para a Amazônia Brasileira como um todo (excluindo áreas não-florestadas). O desmatamento até 2006 reduziu o estoque de carbono na biomassa da floresta para 54,9 PgC.

REFERÊNCIAS

- Achard, F.; Eva, H.D.; Mayaux, P.; Stibig, H.-J.; Belward, A. 2004. Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB2008, DOI: 10.1029/2003GB002142.
- Achard, F.; Eva, H.D.; Stibig, H.-J.; Mayaux, P.; Gallego, J.; Richards, T.; Malingreau, J.-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297: 999-1002.
- Alves, D.S.; 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.
- Alvira, D.; Putz, F.E.; Frederiksen, T.S. 2004. Liana loads and post-logging liana densities after liana cutting in a lowland forest in Bolivia. *Forest Ecology and Management*, 190: 73-86.
- Amorim, L.C. 1991. *Variação da densidade básica no sentido radial em madeiras tropicais da Amazônia*. Relatório Final. PIBIC/CNPq. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil. 124 pp.
- André, C.D.S.; Elian, S.N. 2000. Coefficients of determinations for variable selection in the MSAE regression. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 29: 623-642.
- Araujo, T.M.; Higuchi, N.; Carvalho Júnior, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117: 43-52.
- ASTM, 2002. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials*. Designation: D 2395-02. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 8 pp.
- Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiore, A.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Lloyd, J.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Silva, N.; Martínez, R.V. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*, 10: 545-562.
- Barbosa, R.I.; Fearnside, P.M. 1996. Carbon and nutrient flows in an Amazonian forest: Fine litter production and composition at Apiaú, Roraima, Brazil. *Tropical Ecology*, 37(1): 115-125.

- Bohlman, S.; O'Brien, S. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology*, 22: 123-136.
- Borajas-Morales, J. 1987. Wood density gravity in species from two tropical forests in Mexico. *IAWA Journal*, 8: 143-148.
- Borchert, R. 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology*, 75(5): 1437-1449.
- Borchert, R.; Pockman, W.T. 2005. Water storage capacitance and xylem tension in isolated branches of temperate and tropical trees. *Tree Physiology*, 25: 457-466.
- Bräker, O.U. 2001. Wood mass and density – a still unused dendro-resource for the carbon cycle discussion. In: Kaennel Dobbertin, M.; Bräker, O.U. (Eds.). *Abstracts of the International Conference Tree Rings and People*. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, Davos, Switzerland.
- Brazil, ANA/SIH 2006. Agência Nacional de Águas. **Hidroweb, Sistemas de Informações Hidrológicas** (<http://www.hidroweb.ana.gov.br/hidroweb/>). Acessado 24/02/2006.
- Brazil, IBAMA 1997. *Madeiras da Amazônia: Características e Utilização, Amazônia Oriental*. Vol. 3. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), Brasília, DF, Brazil. 141 pp.
- Brazil, IBDF 1981. *Madeiras da Amazônia: Características e Utilização. Floresta Nacional do Tapajós*. Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal (IBDF), Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF, Brazil. 113 pp.
- Brazil, IBDF 1983. *Potencial Madeireiro do Grande Carajás*. Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal (IBDF), Brasília, DF, Brazil. 134 pp.
- Brazil, IBDF 1988. *Madeiras da Amazônia. Características e utilização; Estação experimental de Curuá-Una / Amazonian Timbers. Characteristics and utilization; Curuá-Una Experimental Forest Station*, Vol. 2. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), Brasília, DF, Brazil. 236 pp.
- Brazil, IBGE 1997. *Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, Brazil. (CD-ROM using Vista-Map GIS, produzido por IBGE/DGC/DERNA-DEGEO-DECAR).
- Brazil, INMET 2006. **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**, Brasília, DF, Brazil <http://www.inmet.gov.br>. Acessado 25/02/2006.
- Brazil, INPA 1991. *Catálogo de Madeiras da Amazônia*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais (CPPF), Manaus, Amazonas, Brazil. 163 pp.

- Brazil, INPE 2002. **Monitoring of the Brazilian Amazonian Forest by Satellite 2000-2001.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil. http://www.inpe.br/informacoes_Eventos/amazonia.htm. Acessado em 09/08/2006.
- Brazil, INPE 2006. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite, Projeto PRODES.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital>
- Brazil, INPE 2007. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite, Projeto PRODES.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brazil. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital>
- Brazil, MCT 2004. *Brazil's Initial National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change.* Ministry of Science and Technology (MCT), Brasília, DF, Brazil, 271 pp.
- Brazil, Projeto RadamBrasil 1973-1983. *Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia,* Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, Brazil.
- Brazil, Projeto RadamBrasil 1976. *Folha SC 19, Rio Branco.* Levantamento de Recursos Naturais, Manaus. Departamento Nacional de Produção Mineral/Brasil. Rio de Janeiro, Brazil. Vol. 12. 464 pp.
- Brazil, Projeto RadamBrasil 1978. *Folha SC.20, Porto Velho.* Levantamento de Recursos Naturais. Manaus. Departamento Nacional de Produção Mineral/Brasil. Rio de Janeiro, Vol. 16. 668 pp.
- Brazil, Projeto RadamBrasil 1980. *Folha SC.21, Juruena.* Levantamento de Recursos Naturais. Manaus. Departamento Nacional de Produção Mineral/Brasil. Rio de Janeiro, Vol. 20. 460 pp.
- Brotero, F.A. 1956. *Métodos de ensaios adotados no IPT para o estudo de madeiras nacionais.* Boletim 31, 2^a edição. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo, Brazil. 28 pp.
- Brown, I.F.; Martinelli, L.A.; Thomas, W.W.; Moreira, M.Z.; Ferreira, C.A.C.; Victoria, R.A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 75: 175-189.
- Brown, I.F.; Nepstad, D.C.; Pires, I.O.; Luz, L.M.; Alechandre, A.S. 1992. Carbon storage and land use in extractive reserves, Acre, Brazil. *Environmental Conservation*, 19: 307-315.
- Brown, K.S.Jr.; Prance, G.T. 1987. Soils and vegetation. In: Whitmore, T.C; Prance, G.T. (Eds). *Biogeography and Quaternary History in Tropical America*, Clarendon Press, Oxford, U.K., p. 19-45.

- Brown, S. 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer*. FAO Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. 55 pp.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116: 363-372.
- Brown, S.; Gillespie, A.J.R.; Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35: 881-902.
- Brown, S.; Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17: 8-18.
- Castilho, C.V.; Magnusson, W.E.; Araújo, R.N.O.; Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Lima, A.P.; Higuchi, N. 2006. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: Effects of soil and topography. *Forest Ecology and Management*, 234: 85-96.
- Chambers, J.Q.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationship, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152: 73-84.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J. -P.; Puig, H.; Riéra, B.; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.
- Chave, J.; Muller-Landau, H.C.; Baker, T.R.; Easdale, T.A.; ter Steege, H.; Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. *Ecological Applications*, 16(6): 2356-2367.
- Chave, J.; Riéra, B.; Dubois, M. 2001. Estimation of biomass in a neotropical Forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *Journal of Tropical Ecology*, 17: 79-96.
- Chudnoff, M. 1976. Density of tropical timbers as influenced by climatic life zones. *Commonwealth Forestry Review*, 55: 203-217.
- Chudnoff, M. 1980. *Tropical Timbers of the world*. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA. 831 pp.
- Clark, D.A. 2007. Detecting tropical forests' responses to global climatic and atmospheric change: Current challenges and a way forward. *Biotropica*, 39: 4-19.
- Clark, D.A.; Clark, D.B. 2001. Getting to the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. *Ecology*, 82: 1460-1472.
- Cook, D.R.; Weisberg, S. 1982. *Residuals and influence in regression*. Chapman and Hall, New York, 230 pp.

- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Collins, M.; Harris, P.; Huntingford, C.; Jones, C.D. 2004. Amazonian dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 137-156.
- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Jones, C.D.; Spall, S.A.; Totterdell, I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408: 184-187.
- Cummings, D.L.; Kauffman, J.B.; Perry, D.A.; Hughes, R.F. 2002. Aboveground biomass and structure of rainforests in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 163: 293-307.
- Dantas, M.; Phillipson, J. 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian 'terra firme' rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 5: 27-36.
- Dawson, T.E. 1996. Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: the roles of tree size and hydraulic lift. *Tree Physiology*, 16: 263-272.
- DeFries, R.S.; Houghton, R.A.; Hansen, M.C.; Field, G.B.; Skole, D.; Townshend, J. 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 14256-14261.
- Delaney, M.; Brown, S.; Lugo, A.E.; Torres-Lezama, A.; Quintero, N.B. 1998. The quantity and turnover of dead wood in permanent forest plots in six life zones of Venezuela. *Biotropica*, 30: 2-11.
- DeWalt, S.J.; Chave, J. 2004. Structure and biomass of four lowland Neotropical forests. *Biotropica*, 36: 7-19.
- Enquist, B.J. 2002. Universal scaling in tree and vascular plant allometry: toward a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology*, 22: 1045-1064.
- Enquist, B.J.; West, G.B.; Charnov, E.L.; Brown, J.H. 1999. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants. *Nature*, 401: 907-911.
- Eva, H.D.; Achard, F.; Stibig, H-J.; Mayaux, P. 2003. Response to comment on 'determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests'. *Science*, 299: 1015b.
- Eva, H.D.; Belward, A.S.; Miranda, E.E.; di Bella, A.M.; Gond, V.; Huber, O.; Jones, S.; Sgrenzaroli, M.; Fritz, E. 2004. A land cover map of south America. *Global Change Biology*, 10: 731-744.

- FAO 1988. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Soil Map of the World 1:5,000,000*. Revised Legend. FAO World Soil Resource Report 60, Rome, Italy.
- Fearnside, P.M. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 90: 59-87.
- Fearnside, P.M. 2000a. Greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. In: Lal, R; Kimble, J. M.; Stewart, B.A. (Eds). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. p. 231-249.
- Fearnside, P.M. 2000b. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46: 115-158.
- Fearnside, P.M. 2004. Are climate change impacts already affecting tropical forest biomass? *Global Environmental Change*, 14(4): 299-302.
- Fearnside, P.M. 2007. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. *Brazilian Journal of Ecology*, 10: 83-100.
- Fearnside, P.M.; Ferraz, J. 1995. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology*, 9: 1134-1147.
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Filho, N.L.; Rodrigues, F.J.A.; Robinson, J.M. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management*, 123: 65-79.
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Leal Filho, N.; Rodrigues, F.J.A. 2001. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 146: 115-128.
- Fearnside, P.M.; Laurance, W.F. 2003. Comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". *Science*, 229: 1015a.
- Fearnside, P.M.; Laurance, W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications*, 14: 982-986.
- 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. *Journal of Geophysical Research*, 98: 16733-16743.
- Feldalto, L.C.; Mendes, I.A.C.; Coradin, V.T.R. 1989. *Madeiras da Amazônia: descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF, Brazil, 156 pp.

- Feldpausch, T.R.; Jirka, S.; Passos, C.A.M.; Jasper, F.; Riha, S.J. 2005. When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 219: 199-215.
- Fernandes, N.P.; Jardim, F.C.S.; Higuchi, N. 1983. Tabelas de volume para floresta tropical de terra-firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 13(3-4): 537-545.
- França, M.B. 2002. *Modelagem de Biomassa Através do Padrão Espectral no Sudoeste da Amazônia*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil. 106pp.
- Franken, M.; Irmiler, U.; Klinge, H. 1979. Litterfall in inundation, riverine and terra firme forests of central Amazonia. *Tropical Ecology*, 20: 225-235.
- Gehring, C.; Park, S.; Denich, M. 2004. Liana allometric biomass equations for Amazonian primary and secondary forest. *Forest Ecology and Management*, 195: 69-83.
- Gentry, A.H. 1991. The distribution and evolution of climbing plants. In: Putz, F.E.; Mooney, H.A. (Eds). *The Biology of Vines*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., p. 3-50.
- Gerwing, J.J. 2002. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 157: 131-141.
- Gerwing, J.J., Farias, D. 2000. Integrating liana abundance and forest stature into an estimate of total above-ground biomass for an eastern Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 327-335.
- Glerum, B.B. 1960. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley. Part 5: Region between Rio Caete and Rio Maracassume*. Expanded Technical Assistance Program, FAO Report no. 1250. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Glerum, B.B.; Smit, G. 1962. *Report to the Government of Brazil on a combined forestry-soil survey along the road BR-14 from São Miguel do Guama to Imperatriz*. Expanded Program of Technical Assistance Report no. 1483. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Goldstein, G.; Andrade, J.L.; Meinzer, F.C.; Holbrook, N.M.; Cavelier, J.; Jackson, P.; Celis, A. 1998. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant Cell and Environment*, 21: 397-406.
- Graça, P.M.L.A.; Fearnside, P.M.; Cerri, C.C. 1999. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management*, 120: 179-191.

- Grace, J. 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *Journal of Ecology*, 92: 189-202.
- Griscom, B.W.; Ashton, P.M.S. 2003. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in southeastern Peru. *Forest Ecology and Management*, 175: 445-454.
- Griscom, B.W.; Ashton, P.M.S. 2006. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. *Journal of Tropical Ecology*, 22: 587-597.
- Hacke, U.G.; Sperry, J.S.; Pockman, W.T.; Davis, S.D.; McCulloh, K.A. 2001. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. *Oecologia*, 126: 457-461.
- Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R.; Lo, K.; Lea, D.W.; Medina-Elizade, M. 2006. Global temperature change. *PNAS*, 103 (39): 14288-14293.
- Heinsdijk, D. 1957. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley (Region between Rio Tapajós and Rio Xingu)*. Expanded Technical Assistance Program FAO Report no. 601600. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Heinsdijk, D. 1958. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley. Part 3: Region between Rio Tapajós and Rio Madeira*. FAO Report n° 969 & Part 4: Region between Rio Tocantins and Rios Guama and Capin, FAO Report n° 992. Expanded Technical Assistance Program (FAO/58/10/8131), Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Higuchi, N.; Ramm, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central Amazon (Brazil). *Commonwealth Forestry Review*, 64(1): 33-41.
- 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.
- Hinckley, T.M.; Richter, H.; Schulte, P.J. 1991. Water relations. In: Raghavendra, A.S. (Ed.). *Physiology of trees*. John Wiley & Sons, New York, USA., p. 137-162.
- Houghton, R.A. 2003a. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 55: 378-390.
- Houghton, R.A. 2003b. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 9: 500-509.
- Houghton, R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*, 11: 945-958.

- Houghton, R.A.; Lawrence, K.T.; Hackler, J.L.; Brown, S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, 7: 731-746.
- Houghton, R.A.; Skole, D.L.; Nobre, C.A.; Hackler, J.L.; Lawrence, K.T.; Chomentowski, W.H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer, M.; van der Linden, P.J.; Dai, X.; Maskell, K.; Johnson, C.A. (eds.) Cambridge Univ Press, Cambridge, UK.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO/UNEP, 18 pp.
- Keller, M.; Palace, M.; Asner, G.P.; Pereira, R.; Silva, J.N.M. 2004. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, 10: 784-795.
- King, D.A.; Davies, S.J.; Nur Supardi, M.N.; Tan, S. 2005. Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia. *Functional Ecology*, 19: 445-453.
- King, D.A.; Davies, S.J.; Tan, S.; Noor, N.S.MD. 2006. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees. *Journal of Ecology*, 94: 670-680.
- Klinge, H. 1977. Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural forest stands of eastern Amazonia. *Geo-Eco-Trop*, 1: 159-167.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A. 1968. Litter production in area of Amazonian terra firme forest. Part I. *Amazoniana*, 1(4): 287-302.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A. 1973. Biomass of a tierra firme forest of the Amazon basin. *Acta Cientifica Venezolana*, 24: 225-237.
- Klinge, H.; Rodrigues, W.A.; Brunig, E.; Fittkau, E.J. 1975. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. In: Golley, F.; Medina, E. (Eds.). *Tropical Ecological Systems: Trends in terrestrial and Aquatic Research*. Nova York, Springer-Verlag. p. 115-122.
- Latham, P.A.; Zuuring, H.R.; Coble, D.W. 1998. A method for quantifying vertical forest structure. *Forest Ecology and Management*, 104: 157-170.
- Laurance, W.F.; Nascimento, H.E.M.; Laurance, S.G.; Andrade, A.; Ribeiro, J.E.L.S.; Giraldo, J.P.; Lovejoy, T.E.; Condit, R.; Chave, J.; Harms, K.E.; D'Angelo, S. 2006. Rapid

- decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 103(50): 19010-19014.
- Loetsch, F.; Zöhner, F.; Haller, K.E. 1973. *Forest Inventory*. BLV Verlagsgesellschaft. Munich, Germany, 469 pp.
- Lugo, A.E.; Scatena, F.N. 1996. Background and catastrophic tree mortality in tropical moist, wet, and rain forest. *Biotropica*, 28: 585-599.
- Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian Forest. *Geojournal*, 19(4): 407-417.
- Luizão, F.J. 1995. *Ecological studies in contrasting forest types in central Amazonian*. Ph.D Thesis, University of Stirling, UK. 288 pp.
- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Sousa, L.S.; Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10: 592-600.
- Magnago, H.; Barreto, R.A.A.; Pastore, U. 1978. *Projeto RADAMBRASIL. Folha SA. 20. Parte IV Vegetação*, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, Brazil, p. 413-530.
- Magnusson, W.E.; Mourão, G.M. 2005. *Estatística sem matemática: a ligação entre as questões e as análises*. Editora Planta, Londrina, Paraná, Brazil. 138 pp.
- Malhi, Y.; Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Almeida, S.; Alvarez, E.; Arroyo, L.; Chave, J.; Czimczik, C.I.; DiFiori, A.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Montoya, L.M.M.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Martínez, R.V.; Terborgh, J.; Vinceti, B.; Lloyd, J. 2004. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10: 563-591.
- Malhi, Y.; Wood, D.; Baker, T.R.; Wright, J.; Phillips, O.L.; Cochrane, T.; Meir, P.; Chave, J.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Terborgh, J.; Martínez, R.V.; Vinceti, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12: 1107-1138.
- Marques-Filho, A.O.; Ribeiro, M.N.G.; Santos, J.M. 1981. Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus, AM. IV-Precipitação. *Acta Amazonica*, 4: 759-768.
- Martinelli, L.A.; Victoria, R.L.; Moreira, M.Z.; Arruda Jr., G.; Brown, I.F.; Ferreira, C.A.C.; Coelho, L.F.; Lima, R.P.; Thomas, W.W. 1988. *Implantação de parcelas para*

- monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia: Relatório Preliminar. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, Brazil, 72 pp.*
- Mascaro, J.; Schnitzer, S.A.; Carson, W.P. 2004. Liana diversity, abundance, and mortality in a tropical wet forest in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 190: 3-14.
- McGuire, A.D.; Sitch, S.; Clein, J.S.; Dargaville, R.; Esser, G.; Foley, J.; Heimann, M.; Joos, F.; Kaplan, J.; Kicklighter, D.W.; Meier, R.A.; Melillo, J.M.; Moore III, B.; Prentice, I.C.; Ramankutty, N.; Reichenau, T.; Schloss, A.; Tian, H.; Williams, L.J.; Wittenberg, U. 2001. Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO₂, climate and land use effects with four process-based 10 ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles*, 15: 183-206.
- Meinzer, F.C. 2003. Functional convergence in plant responses to the environment. *Oecologia*, 134: 1-11.
- Meinzer, F.C.; Andrade, J.L.; Goldstein, G.; Holbrook, N.M.; Cavelier, J.; Wright, S.J. 1999. Partitioning of soil water among canopy trees in a seasonally dry tropical forest. *Oecologia*, 121: 293-301.
- Meinzer, F.C.; Clearwater, M.J.; Goldstein, G. 2001. Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 239-262.
- Melo, J.E.; Coradin, V.T.R.; Mendes, J.C. 1990. Classes de densidade para madeiras da Amazônia Brasileira. In: *Anais do Congresso Florestal Brasileiro 6*, vol.3, Campos do Jordão, São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo, SP, Brazil, p. 695-699.
- Monteiro, M.T.F. 2005. *Interações na dinâmica do carbono e nutrientes da liteira entre a floresta de terra firme e o igarapé de drenagem na Amazônia central*. Master's Thesis, INPA/UFAM, 93 pp.
- Moura, J.B. 1994. *Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira*. Master's Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil, 114 pp.
- Muller-Landau, H.C. 2004. Interspecific and intersite variation in wood density of tropical trees. *Biotropica*, 36: 20-32.
- Muller-Landau, H.C.; Condit, R.S.; Chave, J.; Thomas, S.C.; Bohlman, S.A.; Bunyavechewin, S.; Davies, S.; Foster, R.; Gunatilleke, S.; Gunatilleke, N.; Harms, K.E.; Hart, T.; Hubbell, S.P.; Itoh, A.; Kassim, A.R.; LaFrankie, J.V.; Lee, H.S.; Losos, E.; Makana, J-R.; Ohkubo, T.; Sukumar, R.; Sun, I-F.; Nur Supardi, M.N.; Tan, S.; Thompson,

- J.; Valencia, R.; Muñoz, G.V.; Wills, C.; Yamakura, T.; Chuyong, G.; Dattaraja, H.S.; Esufali, S.; Hall, P.; Hernandez, C.; Kenfack, D.; Kiratiprayoon, S.; Suresh, H.S.; Thomas, D.; Vallejo, M.I.; Ashton, P. 2006. Testing metabolic ecology theory for allometric scaling of tree size, growth and mortality in tropical forests. *Ecology Letters*, 9: 575-588.
- Nascimento, C.C. 1993. *Variabilidade da Densidade Básica e de Propriedades Mecânicas de Madeiras da Amazônia*. Master's Thesis in Forestry Sciences, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, SP, Brazil. 129 pp.
- Nascimento, H.E.M.; Laurance, W.F. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 168: 311-321.
- Nelson, B.W. 1994. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Reviews*, 10: 105-125.
- Nelson, B.W.; Oliveira, A.C.; Vidalenc, D.; Smith, M.; Bianchini, M.C.; Nogueira, E.M. 2006. Florestas dominadas por tabocas trepadeiras do gênero *Guadua*, no sudoeste da Amazônia. In: *Anais do Seminário Nacional de Bambu*, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil. p. 49-55.
- Nepstad, D.C. 1989. *Forest regrowth on abandoned pastures in eastern Amazonia: Limitations to tree seedling survival and growth*. PhD dissertation, Yale University, New Haven, Connecticut, U.S.A., 234 pp.
- Nepstad, D.; Lefebvre, P.; Silva, U.L.; Tomasella, J.; Schlesinger, P.; Solórzano, L.; Moutinho, P.; Ray, D.; Benito, J.G. 2001. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis. *Global Change Biology*, 10: 704-717.
- Nepstad, D.C.; Veríssimo, A.; Alencar, A.; Nobre, C.; Lima, E.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; Potterk, C.; Moutinho, P.; Mendoza, E.; Cochrane, M.; Brooks, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, 398: 505-508.
- Neter, J.; Wasserman, W. 1974. *Applied linear statistical models – Regression, Analysis of Variance, and Experimental Designs*. Richard D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois, 842 pp.
- Niklas, K.J.; Enquist, B.J. 2001. Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 98: 2922-2927.
- Niklas, K.J.; Spatz, H-C. 2004. Growth and hydraulic (not mechanical) constraints govern the scaling of tree height and mass. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 101: 15661-15663.
- Nogueira, A. 2006. *Variação da densidade, área basal e biomassa de lianas em 64 km² de floresta de terra-firme na Amazônia central*. Master's thesis, Instituto Nacional de

- Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil, 55 pp.
- Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W.; França, M.B. 2007. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 248: 119-135.
- Nogueira, E.M.; Fearnside, P.M.; Nelson, B.W. submetido. Linear regressions for normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2005. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 208: 261-286.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: Influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management*, 227: 14-21.
- Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M.; França, M.B.; Oliveira, A.C.A., 2008. Tree Height in Brazil's 'Arc of Deforestation': Shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*. doi:10.1016/j.foreco.2008.02.002
- O'Brien, S.T.; Hubbell, S.P.; Spiro, P., Condit, R.; Foster, R.B. 1995. Diameter, height, crown and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology*, 76: 1926-1939.
- Oliveira, L.C.S. 1981. *A variação da massa específica aparente da madeira em função do teor de umidade*. IPT, n.2. Notas técnicas em secagem de madeiras. São Paulo, SP, Brazil.
- Oliveira, L.L.; Fontinhas, R.L.; Lima, A.M.M.; Lima, R.J.S. 2004. **Mapas dos parâmetros climatológicos do estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais**. In: *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Fortaleza, Ceará, Brazil. 7 pp. <http://www.para30graus.pa.gov.br/meteorologia.htm>. Acessado em 09/03/2007.
- Ott, R.L.; Longnecker, M.T. 2001. *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis* (5th ed.). Duxbury Press, Belmont, California, 1184 pp.
- Overman, J.P.M.; White, H.J.L.; Saldarriaga, J.G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazon rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, 10: 207-218.
- Palace, M.; Keller, M.; Asner, G.P.; Silva, J.N.M.; Passos, C. 2007. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 238: 309-318.
- Parolin, P.; Ferreira, L.V. 1998. Are there differences in specific wood gravities between trees in várzea and igapó (Central Amazonia)? *Ecotropica*, 4: 25-32.

- Pauletto, D. 2006. *Estoque e produção de liteira grossa em floresta submetida à exploração seletiva de madeira no noroeste de Mato Grosso*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil, 78 pp.
- Pereira, N.W.V.; Venturin, N.; Machado, E.L.M.; Scolforo, J.R.S.; Macedo, R.L.G.; d'Oliveira, M.V.N. 2005. Análise das variações temporais na florística e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta explorada com plano de manejo. *Revista Cerne*, 11: 263-282.
- Perez, J.W. 1970. Relation of crown diameter to stem diameter in forests of Puerto Rico, Dominica, and Thailand. In: Odum, H.T.; Pigeon, R.F. (Eds.). *A tropical Rain Forest – a study of irradiation and ecology at El Verde, Puerto Rico*. Office of Information Services U.S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, Tennessee. p. B-105 – 122.
- Phillips, O.L.; Baker, T.R.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Lloyd, J.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Silva, J.N.M.; Terborgh, J.; Martínez, R.V.; Alexiades, M.; Almeida, S.; Almeida, S.; Brown, S.; Chave, J.; Comiskey, J.A.; Czimczik, C.I.; Di Fiore, A.; Erwin, T.; Kuebler, C.; Laurance, S.G.; Nascimento, H.E.M.; Olivier, J.; Palacios, W.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Saldias, M.; Lezama, A.T.; Vinceti, B. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 359: 381-407.
- Pitt, J. 1961. *Application of silvicultural methods to some of the forests of the Amazon*. FAO, Expanded Technical Assistance Program, Report to the Government of Brazil, n° 1337, Rome, Italy, 94 pp.
- Putz, F.E. 1983. Liana biomass and leaf area of a “Tierra Firme” forest in the Rio Negro Basin, Venezuela. *Biotropica*, 15(3): 185-189.
- Putz, F.E. 1984. Natural history of lianas on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*, 65: 1713-1724.
- Putz, F.E.; Coley, P.D.; Lu, K.; Montalvo, A.; Aiello, A. 1983. Uprooting and snapping of trees: Structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal of Forest Research*, 13: 1011-1020.
- Reich, P.B.; Borchert, R. 1984. Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 72: 61-74.
- Reid, Collins and Associates 1977. *Jari Hog Fuel Study: Investigation of Moisture Content, Specific Gravity, Rate of Drying and other related proprieties of Indigenous Hardwood*

- Species at Jari, Brazil*. Progress Report, Dry Season Sampling and Results, Vancouver, BC, Canada. 63 pp.
- Restom, T.G.; Nepstad, D.C. 2004. Seedling growth dynamics of a deeply rooting liana in a secondary forest in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 190: 109-118.
- Revilla Cardenas, J.D. 1986. *Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Samuel*. Convênio: Eletronorte/MCT/CNPq/INPA de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento: Estimativa de Fitomassa. Período julho-dezembro 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brazil. 194 pp.
- Revilla Cardenas, J.D. 1987. *Levantamento e análise da fitomassa da UHE de Kararaô (Relatório)*. Rio Xingu. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brazil. 181 pp.
- Revilla Cardenas, J.D. 1988. *Levantamento e análise da fitomassa da UHE de Babaquara, Rio Xingu (Relatório)*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brazil. 277 pp.
- Reyes, G.; Brown, S.; Chapman, J.C.; Lugo, A.E. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. USDA Forest Service. General Technical Report S0-88. Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA. 15 pp.
- Ribeiro, J.E.L.S.; Hopckins, M.J.C.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Silva, C.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia central*. INPA/DFID, Manaus, Amazonas, Brazil. 816 pp.
- Ribeiro, R.J. 1996. *Estudos de função de forma para espécies florestais de terra-firme da Amazônia*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil, 76 pp.
- Rice, A.H.; Pyle, E.H.; Saleska, S.R.; Hutyra, L.; Carmargo, P.B.; Portilho, K.; Marques, D.F.; Wofsy, S.F. 2004. Carbon balance and vegetation dynamics in an old-growth Amazonian forest. *Ecological Applications*, 14(4): S55–S71.
- Rice, K.; Brokaw, N.; Thompson, J. 2004. Liana abundance in a Puerto Rican forest. *Forest Ecology and Management*, 190: 33-41.
- Roth, I. 1981. *Structural pattern in tropical barks*. Encyclopedia of plant anatomy. Volume IX/3. Gebrüder Bornträger, Berlin, Germany.

- Rozendaal, D.M.A.; Hurtado, V.H.; Poorter, L. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature. *Functional Ecology*, 20: 207-216.
- Russel, C.E. 1983. *Nutrient cycling and productivity of native and plantation forests at Jari florestal, Pará, Brazil*. Ph.D Thesis, University of Georgia, Athens, Georgia, U.S.A. 135 pp.
- Saatchi, S.S.; Houghton, R.A.; Alvalá, R.C.S.; Soares, J.V.; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837.
- Saldarriaga, J.G.; West, D.C.; Tharp, M.L.; Uhl, C. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology*, 76: 938-958.
- Sallenave, P. 1955. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de l'Union Française*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne, France.
- Sallenave, P. 1964. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Premier Supplément*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marme, France.
- Sallenave, P. 1971. *Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Deuxième Supplément*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne, France.
- Santos, J. 1996. *Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira*. Doctoral Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 121 pp.
- Schnitzer, S.A.; Dalling, J.; Carson, W.P. 2000. The impact of lianas on tree regeneration in tropical forest canopy gaps: evidence for an alternative pathway of gap-phase regeneration. *Journal of Ecology*, 88: 655-666.
- Schulze, E.D.; Mooney, H.A.; Bullock, S.H.; Mendoza, A. 1988. Water contents of wood of tropical deciduous forests during the dry season. *Boletín Sociedad Botánica de México*, 48: 113-118.
- Scott, D.A.; Proctor, J.; Thompson, J. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litter and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80: 705-717.
- Sheil, D. 1995. A critique of permanent plot methods and analysis with examples from Budongo Forest, Uganda. *Forest Ecology and Management*, 77: 11-34.
- Silva, M.F.F. 1984. Produção anual de serrapilheira e seu conteúdo mineralógico na mata tropical de terra firme, Tucuruí-PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica*, 1: 111-158.

- Silva, M.F.F.; Lobo, M.G.A. 1982. Nota sobre deposição de matéria orgânica em floresta de terra-firme, várzea e igapó. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série: Botânica, Belém*, (56): 1-13.
- Silva, R.P. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Doctoral Thesis, Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, Amazonas, Brazil, 152 pp.
- Silveira, M. 1999. Ecological aspects of bamboo-dominated forest in southwestern Amazonia: an ethnoscience perspective. *Ecotropica*, 5: 213-216.
- Simpson, W.; TenWolde, A. 1999. Physical properties and moisture relations of wood. Chapter. 3. *In: Forest Products Laboratory. Wood Handbook-wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA. 463 pp.
- Simpson, W.T. 1993. Specific Gravity, Moisture Content, and Density Relationship for Wood. General Technical Report FPL-GTR-76. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA. 13 pp.
- Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. 1995. *Biometry*, 3rd Ed., W.H. Freeman & Company, San Francisco, California, 880 pp.
- Sombroek, W.G. 2000. Amazon land forms and soils in relation to biological diversity. *Acta Amazonica*, 30: 81-100.
- Souza, M.H.; Magliano, M.M.; Camargos, J.A.A.; Souza, M.R. 2002. *Madeiras tropicais brasileiras (Brazilian Tropical woods)*. Second ed. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Edições IBAMA, Brasília, DF, Brazil. 152 pp.
- Sterck, F.J.; van Gelder, H.A.; Poorter, L. 2006. Mechanical branch constraints contribute to life-history variation across tree species in a Bolivian forest. *Journal of Ecology*, 94: 1192-1200.
- Summers, P.M. 1998. *Estoque, decomposição e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Master's Thesis. INPA/UFAM. Manaus, AM. 105pp.
- Suzuki, E. 1999. Diversity in specific gravity and water content of wood among Bornean tropical rainforest trees. *Ecological Research*, 14: 211-224.
- ter Steege, H.; Hammond, D.S. 2001. Character convergence, diversity, and disturbance in tropical rain forest in Guyana. *Ecology*, 82: 3197-3212.
- ter Steege, H.; Pitman, N.C.A.; Phillips, O.L.; Chave, J.; Sabatier, D.; Duque, A.; Molino, J-F.; Prévost, M-F.; Spichiger, R.; Castellanos, H.; von Hildebrand, P.; Vásquez, R. 2006.

- Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. *Nature*, 443: 444-447.
- ter Steege, H.; Pitman, N.C.A.; Sabatier, D.; Castellanos, H.; van der Hout, P.; Daly, D.C.; Silveira, M.; Phillips, O.; Vasquez, R.; van Andel, T.; Duivenvoorden, J.; Oliveira, A.A.; Ek, R.; Lilwah, R.; Thomas, R.; van Essen, J.; Baider, C.; Maas, P.; Mori, S.; Terborgh, J.; Vargas, P.N.; Mogollón, H.; Morawetz, W. 2003. A spatial model of tree alpha-diversity and tree density for the Amazon. *Biodiversity and Conservation*, 12: 2225-2277.
- ter Steege, H.; Sabatier, D.; Castellanos, H.; van Andel, T.; Duivenvoorden, J.; Oliveira, A.A.; Ek, R.; Lilwah, R.; Mass, P.; Mori, S. 2000. An analysis of the floristic composition and diversity of Amazonian forests including those of the Guiana Shield. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 801-828.
- Terborgh, J.; Andresen, E. 1998. The composition of Amazonian forests: patterns at local and regional scales. *Journal of Tropical Ecology*, 14: 645-664.
- Terborgh, J.; Vargas, P.N.; Mogollón, H.; Morawetz, W. 2003. A spatial model of tree alpha-diversity and tree density for the Amazon. *Biodiversity and Conservation*, 12: 2225-2277.
- Trugilho, P.F.; Silva, D.A.; Frazão, F.J.L.; Matos, J.L.M. 1990. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. *Acta Amazonica*, 20 307-319.
- Tuomisto, H.; Ruokolainen, K.; Kalliola, R.; Linna, A.; Danjoy, W.; Rodriguez, Z. 1995. Dissecting Amazonian biodiversity. *Science*, 269: 63-66.
- Uhl, C.; Buschbacher, R.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia, I: Pattern of plant succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.
- van Gelder, H.A.; Poorter, L.; Sterck, F.J. 2006. Wood mechanics, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist*, 171: 367-378.
- Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. 1991. *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. IBGE, Rio de Janeiro, Brazil. 123 pp.
- Vidalenc, D. 2000. *Distribuição das florestas dominadas pelo bambu Guadua weberbaueri em escala de paisagem no sudoeste da Amazônia e fatores edáficos que afetam sua densidade*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brazil. 92 pp.
- Villela, D.M.; Proctor, J. 1999. Litterfall mass, chemistry, and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maracá island, Roraima, Brazil. *Biotropica*, 31(2): 198-211.
- Weiner, J.; Thomas, S.C. 1992. Competition and allometry in three species of annual plants. *Ecology*, 73: 648-656.

- West, G.B.; Brown, J.H.; Enquist, B.J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.
- Wiemann, M.C.; Williamson, G.B. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. *Wood and Fiber Science*, 20(3): 344-349.
- Wiemann, M.C.; Williamson, G.B. 1989. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. *Forest Science*, 35: 197-210.
- Wiemann, M.C.; Williamson, G.B. 2002. Geographic variation in wood specific gravity: Effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood Fiber Science*, 34: 96-107.
- Wilkinson, L. 1990. *SYSTAT: The system for statistics*. SYSTAT Inc., Evanston, Illinois, U.S.A.
- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Parolin, P.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. 2006. Wood specific gravity of trees in Amazonian white-water forests in relation to flooding. *IAWA Journal*, 27(3): 255–266.
- Woodcock, D.W. 2000. Wood specific gravity of trees and forest types in the southern Peruvian Amazon. *Acta Amazonica*, 30: 589-599.
- Woodcock, D.W.; Shier, A.D. 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. *Trees – Structure and Functions*, 16: 437-443.
- Woodcock, D.W.; Shier, A.D. 2003. Does canopy position affect wood specific gravity in temperate forest trees? *Annals of Botany*, 91: 529-537.
- Wright, S.J.; Muller-Landau, H.C.; Condit, R.; Hubbell, S.P. 2003. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology*, 84: 3174-3185.
- Yamazaki, D.R.; Costa, A.M.R.; Azevedo, W.P. 1978. *Projeto RADAMBRASIL, Folha AS. 20, Parte III – Pedologia*, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, p. 247-410.

Anexo A. Densidade básica média do fuste (seção transversal do disco de madeira com casca) por espécies ou morfo-espécies para quatro sites na porção sul da Amazônia Brasileira.

Família	Nome Científico	Média do fuste (Desvio padrão)	n
Anacardiaceae	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	0,445	1
Fabaceae	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex. DC.	0,650	1
Annonaceae	<i>Annona ambotay</i> Aubl.	0,605	1
Tiliaceae	<i>Apeiba echinata</i> Gaertner	0,265	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> cf. <i>spruceanum</i> Mull. Arg.	0,726 (0,010)	2
Anacardiaceae	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	0,638 (0,062)	7
Moraceae	<i>Batocarpus amazonicus</i> (Ducke) Fosberg	0,604	1
Bixaceae	<i>Bixa arborea</i> Huber	0,332	1
Moraceae	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber ssp. <i>interjectum</i> C.C. Berg	0,511	1
Moraceae	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	0,644	1
Moraceae	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	0,766 (0,065)	3
Moraceae	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	0,627 (0,048)	6
Urticaceae	<i>Castilloa ulei</i> Warb	0,410	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	0,310	1
Ulmaceae	<i>Celtis schippii</i> Standl.	0,669	1
Hippocrateaceae	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	0,703 (0,025)	11
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist ssp. <i>pachicardium</i> Pires T. D.		
Sapotaceae	Pen	0,737	1
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,728	1
Moraceae	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	0,526	1
Cochlospermaceae	<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud.	0,394	1
Euphorbiaceae	<i>Conceveiba guianensis</i> Aubl.	0,556	1
Caesalpinioideae	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	0,563 (0,009)	2
Boraginaceae	<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	0,467	1
Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp.	0,550	1
Boraginaceae	<i>Cordia sprucei</i> Mez	0,467 (0,022)	2
Euphorbiaceae	<i>Croton palanostigma</i> Klotzsch	0,454	1
Fabaceae	<i>Diplotropis purpurea</i> var. <i>leptophylla</i> (Kleinhoonte) Amshoff	0,674 (0,053)	2
Sapotaceae	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	0,613 (0,124)	4
Mimosoideae	<i>Enterolobium</i> sp.	0,379	1
Bombacaceae	<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) Robyns	0,590	1
Myrtaceae	<i>Eugenia anastomosans</i> DC.	0,594	1
Annonaceae	<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	0,657 (0,035)	4
Nyctaginaceae	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	0,533	1
Meliaceae	<i>Guarea</i> cf. <i>humaitensis</i> T.D. Penn.	0,513	1
Meliaceae	<i>Guarea grandifolia</i> DC.	0,623	1
Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	0,492	1
Meliaceae	<i>Guarea</i> sp.	0,613	1
Meliaceae	<i>Guarea trunciflora</i> C. DC.	0,607 (0,016)	2
Annonaceae	<i>Guatteria citriodora</i> Ducke	0,516	1
Annonaceae	<i>Guatteria</i> sp.	0,487	1
Sterculiaceae	<i>Guazuma</i> sp.	0,484	1
Lecythidaceae	<i>Gustavia augusta</i> L.	0,604	1
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella</i> cf. <i>racemosa</i> Lam.	0,761	1
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella</i> sp.	0,699	1
Caesalpinioideae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	0,785	1
Fabaceae	<i>Hymenolobium</i> cf. <i>pulcherrimum</i> Ducke	0,586 (0,023)	2
Fabaceae	<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke	0,538	1
Fabaceae	<i>Hymenolobium nitidum</i> Benth.	0,632	1
Fabaceae	<i>Hymenolobium sericeum</i> Ducke	0,715	1
Mimosoideae	<i>Inga alba</i> (Swartz.) Willd.	0,588	1

Anexo A. (continuação)

Família	Nome Científico	Média do fuste (Desvio padrão)	n
Mimosoideae	<i>Inga flagelliformis</i> (Vell.) Mart.	0,496	1
Mimosoideae	<i>Inga stipularis</i> DC.	0,676	1
Mimosoideae	<i>Inga thibaudiana</i> DC. ssp. <i>thibaudiana</i>	0,657	1
Myristicaceae	<i>Iryanthera sagotiana</i> Warb.	0,551	1
Rubiaceae	<i>Isertia hypoleuca</i> Benth.	0,484	1
Flacourtiaceae	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	0,615	1
Tiliaceae	<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	0,546 (0,022)	2
Moraceae	<i>Maquira calophylla</i> (Planch. & Endl.) C.C. Berg	0,617 (0,095)	3
Moraceae	<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C.C. Berg	0,416	1
Sapindaceae	<i>Matayba cf. purgans</i> (Poepp. & Endl.) Radlk.	0,565	1
Rutaceae	<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	0,693 (0,046)	5
Melastomataceae	<i>Miconia holosericea</i> (L.) DC.	0,587	1
Memecylaceae	<i>Mouriri duckeanoides</i> Morley	0,704	1
Moraceae	<i>Naucleopsis caloneura</i> (Huber) Ducke	0,453	1
Nyctaginaceae	<i>Neea cf. oppositifolia</i> Ruiz & Pav.	0,454	1
Lauraceae	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	0,466 (0,112)	2
Lauraceae	<i>Ocotea longifolia</i> H.B.K.	0,558	1
Lauraceae	<i>Ocotea nitida</i> (Meissn.) Rohwer	0,536	1
Lauraceae	<i>Ocotea</i> sp.	0,702	1
Mimosoideae	<i>Parkia</i> sp.	0,624	1
Violaceae	<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	0,492 (0,021)	2
Fabaceae	<i>Poeppigia procera</i> C. Presl	0,531	1
Cecropiaceae	<i>Pourouma cf. tomentosa</i> Miq. ssp. <i>apiculata</i> (Bem.) C.C. Berg. & van Heus.	0,379 (0,016)	2
Cecropiaceae	<i>Pourouma minor</i> Benoist	0,423 (0,046)	4
Sapotaceae	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T.D. Penn.	0,680 (0,011)	4
Sapotaceae	<i>Pouteria cf. campanulata</i> Baehni	0,690 (0,069)	3
Sapotaceae	<i>Pouteria cf. cladantha</i> Sandwith	0,615	1
Sapotaceae	<i>Pouteria cf. glomerata</i> (Miq.) Radlk.	0,643 (0,088)	4
Sapotaceae	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	0,682 (0,034)	2
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp.	0,681	1
Burseraceae	<i>Protium cf. decandrum</i> (Aubl.) March.	0,562 (0,028)	2
Burseraceae	<i>Protium cf. spruceanum</i> (Benth.) Engl.	0,568 (0,008)	2
Burseraceae	<i>Protium guianensis</i> (Aubl.) Marchand	0,665	1
Burseraceae	<i>Protium</i> sp.	0,620	1
Burseraceae	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	0,553	1
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	0,593 (0,041)	7
Moraceae	<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	0,588 (0,049)	4
Annonaceae	<i>Pseudoxandra obscurinervis</i> Maas	0,691	1
Vochysiaceae	<i>Qualea cf. paraensis</i> Ducke	0,553	1
Bombacaceae	<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	0,563 (0,024)	5
Violaceae	<i>Rinoreaocarpus ulei</i> (Melch.) Ducke	0,589	1
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	0,441	1
Sapotaceae	<i>Sarcaulus</i> sp.	0,680	1
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frodin	0,423 (0,036)	2
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium cf. micropetalum</i> Ducke	0,553 (0,123)	3
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium cf. setiferum</i> Ducke	0,438	1
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,576	1
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,645	1
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,511	1
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,380	1

Anexo A. (continuação)

Família	Nome Científico	Média do fuste (Desvio padrão)	n
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,463	1
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,344	1
Siparunaceae	<i>Siparuna</i> sp.	0,436	1
Sterculiaceae	<i>Sterculia excelsa</i> Mart.	0,455 (0,015)	2
Sterculiaceae	<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K. Schum.	0,344	1
Sterculiaceae	<i>Sterculia</i> sp.	0,387	1
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i> sp.	0,713	1
Sapindaceae	<i>Talisia cerasina</i> (Benth.) Radlk.	0,825	1
Burseraceae	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	0,646 (0,033)	8
Burseraceae	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	0,666	1
Sterculiaceae	<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	0,476 (0,031)	5
Sterculiaceae	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	0,495 (0,029)	6
Sapindaceae	<i>Toulicia guianensis</i> Aubl.	0,671 (0,029)	2
Clusiaceae	<i>Tovomita</i> sp.	0,713	1
Burseraceae	<i>Trattinnickia</i> cf. <i>peruviana</i> Loes.	0,515	1
Meliaceae	<i>Trichilia</i> cf. <i>rubra</i> C. DC.	0,790	1
Meliaceae	<i>Trichilia guianensis</i> Klotzsch ex C. DC.	0,804	1
Meliaceae	<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	0,683 (0,064)	8
Meliaceae	<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth	0,620	1
Meliaceae	<i>Trichilia</i> sp.	0,765	1
Meliaceae	<i>Trichilia</i> sp.	0,558	1
Meliaceae	<i>Trichilia</i> sp.	0,764	1
Humiriaceae	<i>Vantanea guianensis</i> Aubl.	0,816	1
Humiriaceae	<i>Vantanea</i> sp.	0,799	1
Myristicaceae	<i>Virola</i> cf. <i>venosa</i> (Benth.) Warb.	0,427	1

Anexo B. Densidade básica na altura do peito (seção transversal do disco de madeira com casca) no sudoeste da Amazônia para dois tipos de florestas: floresta aberta dominada por bambu e floresta densa livre de bambu. O conteúdo abaixo é o mesmo conjunto de dados usado por França (2002) após identificação das espécies botânicas. No entanto, a informação na nota *erratum* anexada a França (2002, Anexo I) foi incorporada como valores corrigidos para o Acre, usados aqui.

Família	Nome Científico	Densidade básica na altura do peito	n
Mimosaceae	<i>Acacia paniculata</i> Willd.	0,472	1
Mimosaceae	<i>Acacia paraensis</i> Ducke	0,554	2
Fabaceae	<i>Alexa</i> sp.	0,665	1
Sapindaceae	<i>Allophylus pilosus</i> (J.F. Macbr.) A.H. Gentry	0,614	5
Ulmaceae	<i>Ampelocera edentula</i> Kuhl	0,804	1
Fabaceae	<i>Andira multistipula</i> Ducke	0,675	1
Tiliaceae	<i>Apeiba echinata</i> Gaertner	0,391	2
Tiliaceae	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0,242	1
Olacaceae	<i>Aptandra tubicina</i> (Poepp.) Benth. ex Miers	0,605	1
Apocynaceae	<i>Aspidosperma ulei</i> Markgr.	0,670	1
Anacardiaceae	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	0,691	2
Sterculiaceae	<i>Basilloxylon</i> sp.	0,175	1
Moraceae	<i>Batocarpus</i> cf. <i>amazonicus</i> (Ducke) Fosberg	0,605	1
Fabaceae	<i>Bocoa alterna</i> (Benth.) R. S. Cowan	0,747	1
Bombacaceae	<i>Bombacopsis macrocalyx</i> (Ducke) Robyns	0,362	2
Monimiaceae	<i>Bracteanthus glycyarpus</i> Ducke	0,677	1
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> subsp. <i>bolivarense</i> (Pittier) C.C. Berg	0,618	1
Moraceae	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	0,602	1
Moraceae	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	0,632	2
Combretaceae	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	0,753	1
Myrtaceae	<i>Calyptanthes</i> sp.	0,480	1
Myrtaceae	<i>Calyptanthes</i> sp.	0,818	1
Euphorbiaceae	<i>Caryodendron grandifolium</i> (Mull. Arg.) Pax	0,644	5
Flacourtiaceae	<i>Casearia javintensis</i> H.B.K.	0,571	1
Flacourtiaceae	<i>Casearia pitumba</i> Sleumer	0,519	1
Flacourtiaceae	<i>Casearia</i> sp.	0,621	1
Flacourtiaceae	<i>Casearia</i> sp.	0,723	1
Olacaceae	<i>Cathedra acuminata</i> (Benth.) Miers	0,658	1
Bombacaceae	<i>Cavanillesia</i> sp.	0,153	1
Bombacaceae	<i>Cavanillesia</i> sp.	0,192	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia distachya</i> Huber	0,438	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia ficifolia</i> Warb. ex Snethl.	0,277	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia latiloba</i> Miq.	0,271	1
Cecropiaceae	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	0,456	1
Bombacaceae	<i>Ceiba insignis</i> (Kunth) P.E. Gibbs & Semir	0,410	3
Cochlospermaceae	cf. <i>Cochlospermum</i> sp.	0,790	1
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum</i> sp.	0,589	1
Verbenaceae	<i>Citharexylum macrophyllum</i> Poir.	0,538	1
Moraceae	<i>Clarisia biflora</i> Ruiz & Pav.	0,498	1
Moraceae	<i>Clarisia ilicifolia</i> (Spreng.) Lanj. & Rosseb.	0,672	1
Fabaceae	<i>Clathrotropis macrocarpa</i> Ducke	0,675	1
Caesalpinioideae	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	0,547	1
Boraginaceae	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	0,372	1
Boraginaceae	<i>Cordia</i> sp.	0,640	1
Euphorbiaceae	<i>Drypetes variabilis</i> Uittien	0,713	5
Annonaceae	<i>Duguetia quitarensis</i> Benth.	0,754	2
Annonaceae	<i>Duguetia spixiana</i> Mart.	0,613	1
Fabaceae	<i>Dypterix alata</i> Vogel	0,936	1
Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> aff. <i>coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg.	0,615	1

Anexo B. (continuação)

Família	Nome Científico	Densidade básica na altura do peito	n
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovalifolia</i> (DC.) Nied.	0,618	1
Rutaceae	<i>Esenbeckia</i> sp.	0,446	1
Moraceae	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & Bouché	0,387	1
Moraceae	<i>Ficus paraensis</i> (Miq.) Miq.	0,480	1
Rubiaceae	<i>Genipa</i> sp.	0,545	1
Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	0,595	1
Meliaceae	<i>Guarea pubescens</i> (Rich.) A. Juss.	0,617	1
Meliaceae	<i>Guarea</i> sp.	0,684	1
Meliaceae	<i>Guarea</i> sp.	0,695	1
Annonaceae	<i>Guatteria</i> cf. <i>schomburgkiana</i> Mart.	0,676	1
Euphorbiaceae	<i>Hevea</i> cf. <i>brasiliensis</i> (Kunth) Mull. Arg.	0,525	2
Euphorbiaceae	<i>Hevea</i> sp.	0,262	1
Euphorbiaceae	<i>Hevea spruceana</i> (Benth.) Mull. Arg.	0,530	1
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella excelsa</i> Standl. ex Prance	0,712	3
Chrysobalanaceae	<i>Hirtella</i> cf. <i>racemosa</i> Lam.	0,720	1
Aquifoliaceae	<i>Ilex inundata</i> Poepp. ex Reissek	0,649	3
Mimosaceae	<i>Inga</i> cf. <i>disticha</i> Benth.	0,483	1
Mimosaceae	<i>Inga</i> cf. <i>laurina</i> Willd.	0,696	1
Mimosaceae	<i>Inga edulis</i> Mart.	0,507	1
Mimosaceae	<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.	0,463	2
Mimosaceae	<i>Inga marginata</i> Willd.	0,468	3
Mimosoideae	<i>Inga nobilis</i> Willd.	0,591	1
Rubiaceae	<i>Ixora peruviana</i> (Spruce ex K. Schum.) Standl.	0,664	1
Caricaceae	<i>Jacaratia digitata</i> (Poepp. & Endl.) Solms	0,087	2
Lecythidaceae	<i>Lecythis</i> sp.	0,628	1
Violaceae	<i>Leonia crassa</i> L.B. Sm. & A. Fernández	0,695	1
Fabaceae	<i>Lonchocarpus</i> sp.	0,535	1
Flacourtiaceae	<i>Lunania parviflora</i> Spruce ex Benth.	0,537	1
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> ssp. <i>tinctoria</i>	0,668	1
Annonaceae	<i>Malmea</i> sp.	0,445	1
Fabaceae	<i>Martiodendron elatum</i> var. <i>occidentale</i> (Ducke) R. Koepfen	0,805	1
Sapindaceae	<i>Matayba arborescens</i> (Aubl.) Radlk.	0,737	1
Bombacaceae	<i>Matisia</i> sp.	0,571	1
Lauraceae	<i>Mezilaurus micrantha</i> van der Werff	0,801	1
Lauraceae	<i>Ocotea longifolia</i> H.B.K.	0,497	2
Lauraceae	<i>Ocotea oblonga</i> (Meissn.) Mez	0,556	2
Annonaceae	<i>Oxandra espintana</i> (Spruce ex Benth.) Baill.	0,749	1
Annonaceae	<i>Oxandra polyantha</i> R. E. Fr.	0,778	1
Annonaceae	<i>Oxandra</i> sp.	0,729	1
Moraceae	<i>Perebea guianensis</i> Aubl.	0,734	3
Moraceae	<i>Perebea mollis</i> (Planch. & Endl.) Huber ssp. <i>mollis</i>	0,613	1
Moraceae	<i>Perebea</i> sp.	0,676	1
Fabaceae	<i>Platymiscium</i> sp.	0,524	1
Anacardiaceae	<i>Poupartia amazonica</i> Ducke	0,392	1
Sapotaceae	<i>Pouteria</i> cf. <i>campanulata</i> Baehni	0,715	1
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	0,702	4
Moraceae	<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	0,542	2
Fabaceae	<i>Pterocarpus</i> aff. <i>rohrii</i> Vahl	0,481	1
Fabaceae	<i>Pterocarpus</i> cf. <i>officinalis</i> Jacq.	0,578	1
Bombacaceae	<i>Quararibea</i> cf. <i>guianensis</i> Aubl.	0,451	7

Anexo B. (continuação)

Família	Nome Científico	Densidade básica na altura do peito	n
Clusiaceae	<i>Rhedia acuminata</i> (Ruiz & Pav.) Planch. & Triana	0,698	1
Violaceae	<i>Rinorea amapensis</i> Hekking	0,616	1
Violaceae	<i>Rinorea lindeniana</i> (Tul.) Kuntze	0,675	1
Humiriaceae	<i>Sacoglottis</i> sp.	0,698	1
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	0,479	1
Euphorbiaceae	<i>Sapium marmieri</i> Huber	0,331	3
Euphorbiaceae	<i>Sapium obovatum</i> Klotzsch ex Mull. Arg.	0,435	2
Euphorbiaceae	<i>Sapium</i> sp.	0,331	1
Fabaceae	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	0,431	1
Caesalpinioideae	<i>Sclerolobium</i> sp.	0,495	1
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea porphyrocarpa</i> Ducke	0,732	1
Moraceae	<i>Sorocea briquetii</i> J.F. Macbr.	0,625	1
Moraceae	<i>Sorocea hirtella</i> Mildbr.	0,648	1
Sterculiaceae	<i>Sterculia excelsa</i> Mart.	0,526	1
Myrsinaceae	<i>Stylogyne micrantha</i> (Kunth) Mez	0,510	1
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i> sp.	0,803	1
Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i> sp.	0,799	1
Dichapetalaceae	<i>Tapura peruviana</i> K. Krause	0,711	1
Combretaceae	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	0,697	2
Sterculiaceae	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	0,607	1
Meliaceae	<i>Trichilia</i> aff. <i>cipo</i> (A. Juss.) C. DC.	0,712	1
Meliaceae	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss.	0,673	1
Meliaceae	<i>Trichilia guianensis</i> Klotzsch ex C. DC.	0,654	3
Meliaceae	<i>Trichilia quadrijuga</i> subsp. <i>quadrijuga</i>	0,747	2
Vochysiaceae	<i>Vochysia guianensis</i> Aubl.	0,791	1
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> cf. <i>riedelianum</i> Engl.	0,321	1
Fabaceae	<i>Zollernia</i> cf. <i>grandifolia</i> Schery	0,744	1
Fabaceae	<i>Zygia latifolia</i> (L.) Fawc. & Rendle	0,621	1
Fabaceae	<i>Zygia</i> sp.	0,686	1

Anexo C. Massa seca das árvores amostradas diretamente em floresta aberta no sul da Amazônia. Medições de diâmetro (em cm) foram feitas na altura do peito ou logo acima da sapopema. A massa seca do fuste (em Kg), foi obtida considerando o conteúdo de umidade em cada árvore (ou a média quando ausente) e incluída a massa do toco. A massa seca da copa foi obtida considerando 47,6 % como conteúdo de umidade (veja a seção 2.3).

Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa	Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa
<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	5,157	4,931	1,834	<i>Trichilia</i> cf. <i>rubra</i> C. DC.	7,321	44,979	14,882
<i>Guarea</i> sp.	5,507	14,309	2,306	<i>Pourouma minor</i> Benoist	7,480	6,918	7,284
<i>Ocotea longifolia</i> H.B.K.	5,570	5,662	3,825	<i>Protium</i> cf. <i>spruceanum</i> (Benth.) Engl.	7,480	6,998	4,873
<i>Ocotea</i> cf. <i>aciphylla</i> (Nees) Mez	5,634	5,320	4,035	<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	7,576	21,878	9,327
<i>Maquira calophylla</i> (Planch. & Endl.) C.C. Berg	5,730	7,388	2,201	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	7,639	15,072	6,550
<i>Sclerobium</i> sp.	5,793	8,279	2,463	<i>Sclerobium</i> cf. <i>micropetalum</i> Ducke	7,703	11,359	9,170
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	5,825	7,507	3,458	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	7,703	15,206	2,096
<i>Miconia holosericea</i> (L.) DC.	5,825	7,986	4,087	<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	7,703	25,019	1,048
<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	5,984	14,236	4,402	<i>Enterolobium</i> sp.	7,703	21,409	4,192
<i>Naucleopsis glabra</i> Spruce ex Pittier	6,048	11,658	6,550	<i>Cordia sprucei</i> Mez	7,703	33,942	1,572
<i>Sterculia</i> sp.	6,112	4,646	2,096	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	7,830	25,049	4,978
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	6,207	6,577	6,812	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	7,862	17,512	6,550
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	6,207	8,036	6,026	<i>Pouteria</i> cf. <i>cladantha</i> Sandwith	7,862	23,474	5,974
<i>Swartzia polyphylla</i> DC.	6,271	10,106	3,825	<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	7,862	15,776	5,450
<i>Guarea</i> cf. <i>humaitensis</i> T.D. Penn.	6,303	9,360	3,773	<i>Virola</i> cf. <i>venosa</i> (Benth.) Warb.	7,894	14,932	3,668
<i>Protium</i> cf. <i>spruceanum</i> (Benth.) Engl.	6,303	9,555	5,240	<i>Trichilia guianensis</i> Klotzsch ex C. DC.	8,085	79,689	16,244
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	6,366	7,216	4,454	<i>Maquira calophylla</i> (Planch. & Endl.) C.C. Berg	8,117	13,955	9,432
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	6,366	4,145	4,087	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	8,212	15,780	3,668
<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	6,398	9,725	5,869	<i>Cordia sprucei</i> Mez	8,212	42,586	2,201
<i>Pourouma minor</i> Benoist	6,462	4,008	7,336	<i>Pseudoxandra obscurinervis</i> Maas	8,308	24,409	13,467
<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	6,462	11,011	4,611	<i>Guatteria</i> sp.	8,435	22,126	2,620
<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	6,462	13,676	1,100	<i>Iryanthera sagotiana</i> Warb.	8,499	24,144	6,393
<i>Protium guianensis</i> (Aubl.) Marchand	6,462	12,001	10,270	<i>Pouteria</i> cf. <i>campanulata</i> Baehni	8,531	28,203	6,812
<i>Sclerobium</i> sp.	6,589	13,446	5,240	<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	8,594	28,856	5,869
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	6,685	10,369	8,856	<i>Naucleopsis caloneura</i> (Huber) Ducke	8,658	17,148	11,423
<i>Sclerobium</i> sp.	6,685	9,414	1,310	<i>Poeppigia procera</i> C. Presl	8,722	23,343	7,860
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	6,780	11,575	10,847	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	8,881	18,416	16,087
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg.	6,780	10,354	4,192	<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	8,881	30,032	7,860
<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	6,907	10,288	6,131	<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	8,913	22,789	23,318
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	6,907	44,145	9,432	<i>Trichilia</i> sp.	8,913	33,617	20,960
<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	7,035	14,187	2,253	<i>Trichilia</i> sp.	9,040	26,189	36,575
<i>Trichilia</i> sp.	7,066	13,747	4,716	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	9,072	18,547	12,576
<i>Pouteria</i> cf. <i>campanulata</i> Baehni	7,257	27,261	5,240	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	9,104	29,287	6,655

Anexo C (continuação)

Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa	Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa
<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	9,135	29,970	6,393	<i>Pouteria</i> cf. <i>anomala</i> (Pires) T.D. Penn.	10,472	47,156	21,694
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	9,167	37,902	6,288	<i>Pouteria</i> cf. <i>campanulata</i> Baehni	10,568	99,734	20,646
<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	9,231	33,512	14,567	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	10,632	35,680	21,222
<i>Trichilia quadrijuga</i> Kunth	9,263	24,457	19,021	<i>Qualea</i> cf. <i>paraensis</i> Ducke	10,663	26,821	14,934
<i>Protium</i> cf. <i>spruceanum</i> (Benth.) Engl.	9,263	19,991	15,982	<i>Diploptropis purpurea</i> var. <i>leptophylla</i> (Kleinhoonte) Amshoff	10,663	38,699	11,266
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	9,263	33,426	15,720	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber ssp. <i>interjectum</i> C.C. Berg	10,886	30,572	9,432
<i>Guarea trunciflora</i> C. DC.	9,295	25,526	18,078	<i>Pourouma minor</i> Benoist	10,918	24,165	13,362
<i>Swartzia tessmannii</i> Harms	9,326	30,627	9,799	<i>Annona ambotay</i> Aubl.	10,982	44,464	29,239
<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	9,390	22,049	4,716	<i>Hirtella</i> sp.	11,141	56,516	27,405
<i>Mouriri duckeanoides</i> Morley	9,454	45,959	10,270	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	11,141	42,647	13,624
<i>Matayba</i> cf. <i>purgans</i> (Poepp. & Endl.) Radlk.	9,549	17,283	25,938	<i>Eugenia anastomosans</i> DC.	11,300	28,068	36,313
<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	9,549	22,850	11,842	<i>Cordia</i> sp.	11,364	40,127	12,052
<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	9,645	39,932	3,249	<i>Chrysophyllum</i> sp.	11,459	59,860	38,566
<i>Talisia cerasina</i> (Benth.) Radlk.	9,708	38,083	15,301	<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	11,555	53,173	38,671
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	9,708	23,635	13,834	<i>Pouteria</i> sp.	11,555	85,989	13,624
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	9,708	24,438	17,868	<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	11,555	69,757	22,532
<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T.D. Penn.	9,708	46,525	22,532	<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	11,555	58,342	21,274
<i>Rinoreaocarpus ulei</i> (Melch.) Ducke	9,740	25,732	6,236	<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	11,618	36,176	11,004
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	9,804	28,180	19,440	<i>Cordia ecalyculata</i> Vell.	11,618	52,188	12,157
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	9,804	26,823	14,672	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	11,650	40,990	24,418
<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	9,868	24,767	30,759	<i>Diploptropis triloba</i> Gleason	11,650	63,497	35,003
<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	9,868	26,561	11,528	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	11,682	34,688	27,248
<i>Quararibea ochrocalyx</i> (K. Schum.) Vischer	9,931	27,591	11,633	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	11,777	37,882	24,261
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	9,931	40,849	17,292	<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	11,777	57,620	15,353
<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	9,931	28,921	6,498	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	11,937	53,812	20,698
<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	10,090	77,325	2,306	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	12,000	56,867	14,724
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	10,186	27,599	16,925	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	12,000	97,335	21,274
<i>Protium</i> cf. <i>spruceanum</i> (Benth.) Engl.	10,186	32,008	25,152	<i>Conceveiba guianensis</i> Aubl.	12,032	41,190	35,632
<i>Tocoyena</i> sp.	10,186	30,453	7,074	<i>Protium</i> cf. <i>spruceanum</i> (Benth.) Engl.	12,159	37,099	51,562
<i>Theobroma speciosum</i> Willd. ex Spreng	10,281	31,993	0,943	<i>Drypetes variabilis</i> Uittien	12,191	50,897	25,414
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	10,281	34,766	26,514	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	12,350	45,826	25,833
<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C.C. Berg	10,345	25,243	12,262	<i>Vantanea</i> sp.	12,414	87,154	24,890
<i>Leonia glycyarpa</i> Ruiz & Pav.	10,441	29,244	20,017	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	12,414	39,775	25,676

Anexo C (continuação)

Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa	Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa
<i>Inga flagelliformis</i> (Vell.) Mart.	12,414	40,466	44,278	<i>Sclerolobium sp.</i>	15,279	60,103	52,505
<i>Hirtella cf. racemosa</i> Lam.	12,414	95,553	37,309	<i>Couratari sp.</i>	15,438	67,562	15,353
<i>Naucleopsis glabra</i> Spruce ex Pittier	12,541	51,467	25,414	<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	15,438	69,035	42,968
<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke	12,573	51,999	12,838	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	15,438	88,251	38,200
<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T.D. Penn.	12,637	71,110	22,008	<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	15,756	75,427	44,121
<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	12,796	28,728	33,117	<i>Fusaea longifolia</i> (Aubl.) Saff.	15,756	103,081	57,064
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	13,178	62,120	32,488	<i>Vantanea guianensis</i> Aubl.	15,915	226,887	65,186
<i>Batocarpus amazonicus</i> (Ducke) Fosberg	13,210	74,652	18,235	<i>Aspidosperma cf. spruceanum</i> Mull. Arg.	15,979	72,794	33,588
<i>Siparuna sp.</i>	13,210	40,584	9,222	<i>Aspidosperma cf. spruceanum</i> Mull. Arg.	16,234	99,764	35,422
<i>Toulicia guianensis</i> Aubl.	13,242	98,592	20,122	<i>Leonia glycyarpa</i> Ruiz & Pav.	16,297	70,984	77,028
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	13,369	51,973	33,274	<i>Andira inermis</i> (W. Wright) Kunth ex. DC.	16,393	96,919	37,466
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	13,369	77,545	48,732	<i>Protium decandrum</i> (Aubl.) March.	16,457	102,970	47,684
<i>Hymenolobium cf. pulcherrimum</i> Ducke	13,369	80,773	28,558	<i>Ocotea sp.</i>	16,488	94,238	90,862
<i>Isertia hypoleuca</i> Benth.	13,369	53,783	21,117	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	16,520	91,451	92,434
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	13,433	82,510	19,388	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	16,616	63,586	70,111
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	13,433	97,291	39,824	<i>Pouteria cf. glomerata</i> (Miq.) Radlk.	16,648	93,245	66,653
<i>Sterculia pruriens</i> (Aubl.) K. Schum.	13,433	37,535	2,096	<i>Heisteria aff. spruceana</i> Engl.	16,648	132,944	43,387
<i>Apeiba echinata</i> Gaertner	13,496	27,077	8,489	<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	16,679	117,125	75,142
<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	13,496	110,742	17,292	<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	17,316	80,148	67,229
<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	13,592	115,360	9,746	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	17,603	148,523	78,390
<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	13,687	61,279	35,108	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	17,825	253,099	30,025
<i>Toulicia guianensis</i> Aubl.	13,687	110,562	40,348	<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	18,239	154,452	26,934
<i>Metrodorea flavida</i> K. Krause	13,878	55,304	69,063	<i>Pourouma cf. tomentosa</i> Miq. ssp. <i>apiculata</i> (Benoist) C.C. Berg. & van Heusden	18,335	96,571	55,544
<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) Macbr.	13,942	87,073	41,448	<i>Sclerolobium sp.</i>	18,621	98,250	67,910
<i>Pouteria cf. anomala</i> (Pires) T.D. Penn.	14,006	106,683	35,842	<i>Bixa arborea</i> Huber	18,876	80,080	39,824
<i>Inga stipularis</i> DC.	14,069	100,868	37,204	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	18,939	179,786	94,530
<i>Trichilia micrantha</i> Benth.	14,165	59,181	65,081	<i>Sclerolobium sp.</i>	19,099	145,187	47,789
<i>Ocotea nitida</i> (Meissn.) Rohwer	14,324	83,112	38,147	<i>Paypayrola grandiflora</i> Tul.	19,099	88,087	52,295
<i>Gustavia augusta</i> L.	14,706	63,104	69,325	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	19,226	166,992	26,200
<i>Cheiloclinium cognatum</i> (Miers) A.C. Smith	14,833	50,764	52,767	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	19,290	280,987	67,491
<i>Maquira calophylla</i> (Planch. & Endl.) C.C. Berg	14,897	151,936	64,871	<i>Guazuma sp.</i>	19,735	157,565	77,552
<i>Protium sp.</i>	14,961	51,163	52,505	<i>Rinoreocarpus ulei</i> (Melch.) Ducke	19,894	137,729	97,097
<i>Pseudolmedia macrophylla</i> Trécul	15,183	98,427	47,422	<i>Inga thibaudiana</i> DC. ssp. <i>thibaudiana</i>	19,990	162,424	207,399

Anexo C (continuação)

Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa	Nome Científico	Diâmetro	Tronco	Copa
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	20,690	161,175	145,672	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	34,600	647,936	256,026
<i>Pouteria</i> cf. <i>glomerata</i> (Miq.) Radlk.	20,849	221,429	115,804	<i>Guarea grandifolia</i> DC.	36,478	671,551	376,337
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	21,072	168,438	30,654	<i>Sarcaulus</i> sp.	37,561	958,266	481,084
<i>Pouteria</i> cf. <i>glomerata</i> (Miq.) Radlk.	21,231	167,727	73,412	<i>Trattinnickia</i> cf. <i>peruviana</i> Loes.	37,847	701,722	103,752
<i>Pouteria</i> cf. <i>glomerata</i> (Miq.) Radlk.	21,804	253,713	205,722	<i>Celtis schippii</i> Standl.	38,834	578,894	826,610
<i>Ecclinusa guianensis</i> Eyma	21,868	179,692	137,183	<i>Pourouma minor</i> Benoist	42,654	624,374	429,360
<i>Batocarpus amazonicus</i> (Ducke) Fosberg	22,377	145,583	151,960	<i>Tabebuia</i> sp.	42,813	1001,629	360,040
<i>Pourouma</i> cf. <i>tomentosa</i> Miq. ssp. <i>apiculata</i> (Benoist) C.C. Berg. & van Heusden	22,695	103,069	125,655	<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	43,386	1112,924	594,897
<i>Guatteria citriodora</i> Ducke	22,855	160,868	36,942	<i>Parkia</i> sp.	44,245	772,062	803,816
<i>Celtis schippii</i> Standl.	23,619	255,082	113,446	<i>Castilloa ulei</i> Warb	44,977	870,831	280,445
<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	23,810	204,364	72,312	<i>Pouteria</i> cf. <i>glomerata</i> (Miq.) Radlk.	45,200	1123,773	741,612
<i>Cochlospermum orinocense</i> (Kunth) Steud.	24,414	159,851	47,160	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	45,200	959,248	918,504
<i>Dialium guianense</i> Steud.	24,605	388,684	270,541	<i>Inga alba</i> (Swartz.) Willd.	45,391	971,430	970,710
<i>Chrysophyllum pruriifolium</i> A.D.C.	25,656	346,993	179,627	<i>Hymenolobium nitidum</i> Benth.	46,473	2116,318	455,508
<i>Sterculia excelsa</i> Mart.	26,101	230,296	256,021	<i>Eriotheca globosa</i> (Aubl.) Robyns	49,020	1537,381	690,417
<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C.Berg.	26,261	430,842	403,637	<i>Sclerolobium</i> cf. <i>setiferum</i> Ducke	49,179	797,432	682,248
<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	26,674	414,925	154,842	<i>Pouteria engleri</i> Eyma	49,179	929,378	1861,405
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist ssp. <i>pachicardium</i> Pires T. D. Pen	27,566	493,789	304,654	<i>Hymenolobium</i> cf. <i>pulcherrimum</i> Ducke	50,611	1783,359	586,560
<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	27,852	162,585	63,771	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	55,068	1304,826	1588,244
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	28,170	347,705	318,435	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	57,296	2908,971	1748,850
<i>Sclerolobium</i> cf. <i>micropetalum</i> Ducke	28,234	279,991	278,034	<i>Hymenolobium sericeum</i> Ducke	58,887	1934,341	3133,447
<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke	28,648	525,526	75,980	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frodin	59,206	1606,274	2154,636
<i>Croton palanostigma</i> Klotzsch	28,903	272,170	184,553	<i>Diploptropis purpurea</i> var. <i>leptophylla</i> (Kleinhoonte) Amshoff	59,683	2921,665	2696,195
<i>Neea</i> cf. <i>oppositifolia</i> Ruiz & Pav.	28,966	229,555	170,090	<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	60,001	1568,175	1521,329
<i>Guarea trunciflora</i> C. DC.	28,966	425,689	95,473	<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	69,073	2244,257	1560,210
<i>Theobroma microcarpum</i> Mart.	29,921	376,574	297,265	<i>Sterculia excelsa</i> Mart.	70,506	2899,104	1506,469
<i>Inga thibaudiana</i> DC. ssp. <i>thibaudiana</i>	31,417	236,848	657,096	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	74,262	3383,978	3001,760
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Frodin	31,513	218,053	39,981	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	74,803	5151,810	2158,932
<i>Protium</i> cf. <i>decandrum</i> (Aubl.) March.	33,295	316,394	308,112	<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	82,442	5879,339	3999,676
<i>Sclerolobium</i> cf. <i>micropetalum</i> Ducke	33,423	406,630	189,478	<i>Torresia acreana</i> Ducke	85,944	5309,510	2877,274
<i>Anacardium giganteum</i> W. Hancock ex Engl.	33,486	453,887	128,223	<i>Hymenolobium pulcherrimum</i> Ducke	90,082	6629,034	3026,289
<i>Astronium le-cointei</i> Ducke	33,900	954,535	112,765	<i>Spondias lutea</i> L.	95,016	2825,135	1741,252
<i>Tovomitia</i> sp.	34,473	738,246	446,553	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	124,777	12118,577	8297,383