

Estimativas de biomassa florestal na Amazônica brasileira: Novas equações alométricas e ajustes para biomassa obtida a partir de inventários de volume de madeira¹

Euler Melo Nogueira^{a*}, Philip Martin Fearnside^a, Bruce Walker Nelson^a, Reinaldo Imbrozio Barbosa^a, Edwin Willem Hermanus Keizer^b.

^a Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Coordenação de Pesquisas em Ecologia. Av. André Araújo, 2936, Petrópolis - C.P. 478, CEP 69060-000, Manaus, Amazonas, Brasil, Tel: +55 (92) 3643-1910 - Fax: +55 (92) 3642-1828. E-mail: euler@inpa.gov.br, pmfearn@inpa.gov.br, bnelson@inpa.gov.br, reinaldo@inpa.gov.br

^b Greenpeace, Av. Joaquim Nabuco, 2367, CEP 69020-031, Manaus, Amazonas, Brasil. Tel +55 (92) 3627-9000. E-mail: ekeizer@amazon.greenpeace.org

* Autor para correspondência.

¹ Versão em português do artigo publicado originalmente em inglês como: Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management* 256, 1853-1867.

Resumo

Incertezas nas estimativas de biomassa nas florestas da Amazônia resultam em uma ampla gama de possíveis magnitudes de emissões de carbono por desmatamento e outras formas de mudanças de uso da terra. Este artigo apresenta equações de biomassa desenvolvidas a partir de árvores pesadas diretamente em florestas abertas sobre solos férteis no sul da Amazônia (SA), e equações alométricas para estimativa de volume do fuste em florestas densa e aberta. As equações foram utilizadas para aperfeiçoar o modelo de biomassa comumente usado, que é baseado em inventários em larga-escala de volume de madeira realizados em toda a floresta Amazônica. As estimativas de biomassa a partir da equação alométrica do SA indicam que equações desenvolvidas em florestas sobre solos inférteis na Amazônia central (CA) resultam em superestimativa se aplicadas para árvores nas florestas abertas do SA. Todos os componentes acima do solo de 267 árvores amostradas em florestas abertas no SA foram cortados e pesados, sendo constatado que a proporção de biomassa estocada nas copas das árvores destas florestas é maior que na floresta densa. 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. Novos valores são sugeridos para o modelo usado na conversão de volume de madeira em estimativas de biomassa. Um mapa de biomassa para a Amazônia brasileira foi produzido a partir de 2702 parcelas inventariadas pelo Projeto RadamBrasil incorporando as correções para densidade de madeira, volume de madeira e nos fatores usados para adicionar o volume dos fustes de pequenas árvores e a biomassa das copas. Considerando todos os ajustes, o mapa indica biomassa total de 123,1 Gt (1 Gt = 1 bilhão de toneladas) de peso seco (acima + abaixo do solo) para toda a Amazônia Legal Brasileira originalmente florestada em 1976 (102,3 Gt para acima do solo somente), período em que foram realizados os inventários do RadamBrasil, antes portanto, que os intensivos desmatamentos na região tivessem ocorrido. Estão excluídas desta estimativa 529.000 Km² de floresta devido insuficiência de dados nos inventários do RadamBrasil. Após perda de 676.000 Km² de floresta até 2006 – não contabilizados 175.000 Km² desta área desmatada devido dados insuficientes do RadamBrasil – a estimativa de biomassa seca foi reduzida para 105,4 e 87,6 Gt (acima do solo + abaixo do solo e somente acima do solo). Assim, em 2006 o estoque de carbono em áreas de floresta na Amazônia Brasileira como um todo seria em torno de 51,1 Gt (assumindo 1 Mg biomassa seca = 0,485 Mg C). Estimativas de biomassa por tipo de floresta (agregadas em 12 classes de vegetação) são fornecidas para cada estado da Amazônia Legal Brasileira.

Palavras-chave: Relações alométricas, Floresta Amazônica, Estoque de biomassa, Carbono, Aquecimento global, Gases de Efeito Estufa, Floresta Tropical.

1. Introdução

A floresta Amazônica é um gigantesco reservatório dinâmico de carbono que pode ser gradualmente liberado para a atmosfera por meio da ação combinada de desmatamento e perda de carbono do solo devido as mudanças no uso da terra e o impacto das alterações no clima (Nepstad et al., 1999; Cox et al., 2000, 2004; Houghton, 2005; Malhi et al., 2006; IPCC, 2007). Como o estoque de carbono é incerto (Houghton et al., 2001; Eva et al., 2003; Fearnside and Laurance, 2003), é ampla a magnitude de possíveis emissões de carbono a partir do desmatamento tropical e degradação (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 de volume de madeira em larga-escala (Houghton et al., 2001; Malhi et al., 2006).

Nas florestas da Amazônia, dados 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, 2000; Houghton et al., 2001). Embora incertezas sejam inerentes aos dados de inventário florestal amostrados sobre extensas áreas, este conjunto de dados tem sido preferido para estimativas de biomassa que as equações alométricas, porque os inventários são considerados ser a única base com um adequado nível de representatividade espacial devido a larga escala sobre a qual os dados foram coletados na superfície (Brown et al., 1989; Brown and Lugo, 1992). Embora a 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, estes modelos têm a vantagem de serem facilmente empregados em extensas áreas para 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 constitui um método necessário para avaliar inventários florestais de longo prazo e a magnitude de fluxo de carbono entre os ecossistemas florestais acima do solo e a atmosfera (Grace, 2004; Chave et al., 2005). Além disso, é sugerido neste estudo que as árvores pesadas diretamente em amostragens de pequena escala em tipos específicos de floresta podem ser úteis para aperfeiçoar os valores utilizados nos modelos de biomassa baseados em dados de volume de madeira obtidos por inventários em larga-escala.

As incertezas nas estimativas de biomassa obtidas a partir dos dados de volume do RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983) são causadas por erros nas estimativas originais de volume de madeira e na subsequente conversão para biomassa (Brown et al., 1995). Nas estimativas de volume as incertezas podem existir (i) nas medições da área basal

devido a irregularidades na forma dos fustes ou a ocorrência de ocos (Sheil, 1995; Nogueira et al., 2006); (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 em todos os tipos de floresta. 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 (Heinsdijk, 1958; Pitt, 1961, p. 20; Brasil, RadamBrasil Project, 1973-1983). Qualquer incerteza nas estimativas de volume do fuste implica em proporcional incerteza nas estimativas de biomassa e emissão de carbono.

O modelo normalmente empregado para estimar a biomassa da floresta Amazônica foi desenvolvido como um meio alternativo para utilizar o conjunto de dados disponíveis sobre 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 utilizando dados de densidade de madeira, juntamente com um ‘*fator de expansão de volume*’, usado para adicionar o volume das árvores pequenas (geralmente 10 a 30 cm de diâmetro), e um ‘*fator de expansão de biomassa*’ para adicionar a biomassa das copas. O modelo estima a biomassa para todas as árvores com diâmetro de fuste na altura do peito ≥ 10 cm. Embora um recente estudo sobre densidade de madeira tenha reduzido as incertezas na conversão do volume do fuste para a biomassa do fuste, particularmente em áreas submetidas a desmatamento (Nogueira et al., 2007), substanciais incertezas permanecem na conversão do volume do fuste para a biomassa de toda a árvore. Isto ocorre basicamente, devido aos fatores que adicionam o volume dos fustes das árvores pequenas não-inventariadas e a biomassa das copas.

Neste artigo, buscou-se unir os dois métodos principais de estimativas de biomassa – equações alométricas e volume inventariado de madeira – a fim de ajustar as estimativas de biomassa para as florestas da Amazônia. Uma nova equação de biomassa é desenvolvida a partir de árvores coletadas sobre solos relativamente férteis no sul da Amazônia e novas equações para volume do fuste são desenvolvidas a partir de árvores coletadas em floresta densa e em floresta aberta. Estas relações alométricas são usadas para avaliar incertezas em estimativas anteriores de volume de madeira e biomassa. No caso do modelo normalmente usado para estimar biomassa, baseado em volume de madeira inventariado, este estudo avaliou 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. Finalmente, todas as correções foram aplicadas para gerar um novo

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

Neste estudo somente o diâmetro (na altura do peito ou acima de qualquer sapopema, em cm) foi adotado como 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 está sujeito a imprecisão devido a dificuldade no campo em obter medições de altura ou densidade sem viés para extensas áreas (Overman et al., 1994; Brown et al., 1995). A prioridade foi então obter ajustes com equações que tenham somente diâmetro como variável independente, a fim de facilitar o uso prático. Além disso, existem suficientes modelos previamente publicados que incluem altura e densidade de madeira. Aqui apenas é discutido a acuracidade de modelos anteriores que incluem juntos diâmetro, altura e densidade de madeira (Overman et al., 1994; Brown, 1997; Higuchi et al., 1998; Chave et al., 2005).

2. Materiais e Métodos

2.1. Locais de estudo

Detalhes sobre a área de estudo na Amazônia central (CA) são descritos em Nogueira et al. (2005). Exceto para o município de Carlinda/MT, os outros locais de coleta no sul da Amazônia (SA) são descritos por Nogueira et al. (2007). Nas áreas 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). Nas áreas no SA a vegetação foi descrita como floresta ombrófila aberta, incluindo o local de coleta no município de Carlinda, na porção noroeste do estado do Mato Grosso. Exceto para a área em Carlinda, onde foi observada evidência de perturbações anteriores, todos os outros locais de coleta foram em floresta primária, sem invasão de árvores pioneiras ou mortalidade associada com bordas. O conjunto de dados amostrado em Carlinda não foi usado para equações de biomassa, mas somente para cálculos de afilamento e nas equações de volume. Todas as árvores foram derrubadas randomicamente após autorização do 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 representativa, com intervalos de 5 cm de DAP (diâmetro do fuste na altura do peito). 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).

2.2. Coleta de dados

Na CA 302 árvores (5 a 106 cm DAP ou acima de sapopema) foram coletadas em seis diferentes locais distribuídos em uma área de 45 km². Aproximadamente 50 árvores foram amostradas em cada local de coleta, em parcelas medindo 30 × 30 m. No SA 300 árvores foram coletadas (5 a 124 cm DAP ou acima de sapopema) em quatro municípios: 30 árvores em Juruena (2 locais de coleta), 149 árvores em Cotriguaçu (1 local), 56 árvores em Carlinda (1 local) e 65 árvores em Novo Progresso (1 local). Os locais de coleta foram situados a pelo menos 100 m da borda da floresta. Amostras botânicas de todas as árvores foram coletadas e identificadas por para-botânicos funcionários no Herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Um total de 186 espécies ou morfo-espécies foram identificados nos locais de coleta na CA e 155 no SA.

Tanto na CA como no SA discos de espessura constante (~3 cm) foram retirados de todas as árvores após derrubada, na altura do peito e no final do fuste (na altura do primeiro galho grosso), utilizando um motosserra. Em 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 retirada. As medições na altura do peito foram realizadas a 1,36 m acima do solo na CA e 1,30 m no SA, ou 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 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 por 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 convertida 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 daqui por diante 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.

2.3. *Pesagem de árvores*

Nos locais de coleta no SA 264 árvores (5 a 124 cm DAP ou acima de sapopemas) foram cortadas e cada árvore pesada completamente (massa fresca). O fuste foi cortado na menor altura possível usando uma motosserra, que também foi utilizado 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 local 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 tamanhos apropriados e pesados usando uma balança com 200 Kg de capacidade e precisão de 100 g. As massas frescas dos fustes de seis 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) utilizada para as demais árvores. Neste estudo foi considerado como copa todos os componentes acima do final do fuste comercial, pesados 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., 2008a). 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 tem $Mc = 44,4\%$. Como 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 medida diretamente no campo. As áreas das seções transversais na base e no final do toco foram estimadas e multiplicadas pela altura. Primeiro, a área da seção transversal na base do toco (rente ao solo) foi obtida 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, as áreas da seção transversal na altura do peito ou acima de sapopema e no final do fuste foram corrigidas somente para irregularidades, não para ocos, quando presente. Segundo, a área da seção transversal no final do toco foi obtida por: $BA + (BA \times \% \text{alargamento entre BA e altura do toco})$. Também neste caso o BA é corrigido apenas para irregularidades. Portanto, a biomassa do toco = (média das áreas 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 média da madeira 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). A biomassa do toco foi constatada ser equivalente a 1% da biomassa seca do fuste sem o toco ($n = 264$ árvores) e representa $2,15 \text{ Mg/ha}^{-1}$ quando normalizado para a frequência de árvores esperadas por hectare. Este valor é útil para ajustar estimativas de biomassa e emissão em áreas desmatadas.

2.4. Equação alométrica para biomassa

A massa seca e o diâmetro foram log transformados para satisfazer os pressupostos da regressão linear por mínimos quadrados (Magnusson and Mourão, 2005). Os resíduos pela distribuição de Student (*studentized residuals*) foram plotados contra o *leverage*, incluindo a identificação de *outliers* a partir dos cálculos da distância de Cook. A distância de Cook mede a influência de cada amostra observada sobre as estimativas dos coeficientes (Cook and Weisberg, 1982; Wilkinson, 1990).

Os critérios estatísticos observados na seleção da melhor equação foram: elevado r^2 ajustado, que permite comparação com equações alométricas publicadas que incluem

diferentes números de variáveis (André and Elian, 2000), a distribuição padronizada dos resíduos e o menor erro padrão de estimativa ou $SEE = \sqrt{\text{quadrado médio dos resíduos}}$ (Neter and Wasserman, 1974). Os seguintes resultados foram observados 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 anteriormente 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 quanto para extrapolações por hectare.

2.5. Equações de volume do fuste para árvores em floresta densa e aberta

A partir do volume dos fustes corrigidos para irregularidades e troncos ocos (variável dependente), e medidas convencionais de diâmetro na altura do peito 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 foram adotados os mesmos critérios estatísticos mencionados acima para equações de biomassa.

2.6. Fator de forma: afilamento médio do fuste das árvores em floresta densa e aberta

O fator de forma para cada árvore foi calculado pela razão entre o volume ‘corrigido’ do fuste e o volume assumindo ser o fuste 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 pelo Projeto RadamBrasil nos quais a variável " Asi_n " no denominador da fórmula para o fator de forma *não foi corrigido* para o efeito de irregularidades e troncos ocos.

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

2.7. 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 de todas as árvores com diâmetro mínimo ≥ 10 cm e o volume inventariado de todas as árvores a partir de um diâmetro mínimo qualquer, no caso deste 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 troncos ocos. Os inventários de volume do RadamBrasil iniciam com árvores de $DAP \geq 31,8$ cm (1 m de circunferência); portanto os valores de VEF reportados neste estudo incluem árvores entre 10 e 31,7 cm de diâmetro, o que pode contrastar com outros valores publicados 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 tanto nas florestas densas quanto abertas foram também normalizadas pela distribuição de classes de diâmetro, e o volume proporcional nas classes de tamanhos de 10 a 31,7 cm de diâmetro foi obtido baseado no volume total inventariado por hectare para árvores $\geq 31,8$ cm de diâmetro (veja Seção 2.1 para detalhes sobre inventários).

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

Na floresta densa da CA o BEF reportado neste artigo foi obtido pela razão entre a biomassa aérea das árvores e a biomassa dos fustes. A biomassa acima do solo 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 a 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 média da madeira de cada fuste (veja Nogueira et al., 2005, 2006). 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 por meio de uma razão similar à que foi utilizada para árvores na CA. Entretanto, a biomassa das árvores foi obtida diretamente pela pesagem de cada árvore. Além de um valor para o 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.

2.9. Mapeamento da biomassa por toda a Amazônia brasileira

Um total de 2702 parcelas (1 hectare cada) com volume de madeira inventariado para Amazônia brasileira como um todo foram reunidas a partir de 25 volumes publicados pelo Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983). Foram desprezadas as parcelas com área menor que 1 hectare ou amostradas em ecossistemas não-florestais, tais como savanas (forestada, arborizada e gramíneo-lenhosa) e campinas (vegetação sobre areia branca); mas apesar disso, foram incluídas zonas de contato entre não-floresta 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 para biomassa do fuste com base em 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 utilizando equações lineares (Nogueira et al., 2005); outras fontes oriundas de Chave et al. (2006) e dados recentes publicados 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 encontrados por Castilho et al. (2006) em um inventário de 72 ha conduzido próximo a Manaus, onde árvores de 1 a 10 cm de DAP significaram 6,4% (cerca de 19 Mg/ha^{-1}) da biomassa total acima do solo das árvores. Nascimento and Laurance (2002; Tabela 2) encontraram 6,5% ($=21,11/325,51$) da biomassa acima do solo das árvores no intervalo de 5-9,9 cm DAP como uma porcentagem da biomassa das árvores ≥ 10 cm DAP. Na floresta aberta é esperado que esta porcentagem seja inferior, devido ao menor número de árvores jovens quando comparado a floresta densa. De acordo com 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 que na Amazônia central há cerca de 715 árvores (Castilho et al., 2006). Foram utilizados 4% como o valor médio em florestas não-densas para adicionar a biomassa acima do solo de todas as árvores 1-10 cm DAP (Tabela 1). Para a biomassa de palmeiras em floresta densa foi adicionado 1,9% e 8,6% para florestas não-densas, veja Tabela 1. Para lianas foi usado 3,1% 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 floresta (Tabela 1). Neste estudo não foram incluídas correções para árvores 30-31,7 cm DAP porque os valores de VEF reportados aqui incluem árvores deste intervalo. Correções também não foram incluídas para casca nos valores de densidade de madeira porque foram utilizadas equações lineares para correções da variação radial do disco, incluindo a casca.

A partir da descrição dos metadados de cada parcela inventariada, estas foram classificadas em 12 diferentes tipos de floresta. A biomassa média (acima + abaixo do solo) das parcelas pertencentes a cada tipo foi então usada para gerar um mapa de classes de biomassa para toda a Amazônia brasileira. Dentro de cada tipo de floresta a variância das parcelas inventariadas foi ignorada e a homogeneidade espacial presumida. A extensão de cada um dos 12 tipos de floresta como em 1976 foi obtida pela consolidação das classes em um mapa derivado a partir dos dados do RadamBrasil (Brasil, IBGE, 1997).

Como alguns destes tipos de floresta são zonas de contato misturadas com campina e savana natural, a porção de floresta de cada um dos 12 tipos foi obtida através de um mapa mais detalhado, com um tamanho de célula de 90 m (Brasil, INPE, 2008). Este segundo mapa forneceu a extensão da floresta amazônica “primitiva” e a extensão de todo o desmatamento acumulado até 2006. Finalmente, dois conjuntos de tabelas foram derivados como produtos: um fornecendo a área das classes de biomassa florestal por estado em 1976, e o outro em 2006. A biomassa não foi tabulada ou mapeada em áreas desmatadas anteriormente a 1976, nem em tipos de florestas com menos de 10 parcelas inventariadas pelo RadamBrasil, nem ainda em três áreas de superfície no extremo leste da Amazônia (1.4 cenas de Landsat, $0,04 \times 10^6$ Km²) com ausência de dados do INPE sobre a extensão da floresta e do desmatamento. A biomassa foi tabulada e mapeada para $3,378 \times 10^6$ Km² da Amazônia brasileira florestada em 1976 e $2,877 \times 10^6$ Km² de floresta remanescente em 2006. A diferença, uma área de $0,501 \times 10^6$ Km², foi desmatada ao longo do período de 30 anos. Devido o número insuficiente de parcelas inventariadas pelo RadamBrasil, as perdas de biomassa não foram estimadas para uma área adicional de $0,175 \times 10^6$ Km² desmatada durante o mesmo período.

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

Floresta	Estado	Biomassa de todas as árvores ≥10 cm	Palmeiras	%	Lianas	%	Sub-bosque; plântulas (madeira + folhas)	%	Madeira morta (caída + em pé)	%	Liteira/tapete de raízes ^a	%	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)

Tabela 1. (continuação)

Floresta	Estado	Biomassa de todas as árvores ≥10 cm	Palmeiras	%	Lianas	%	Sub-bosque; plântulas (madeira + folhas)	%	Madeira morta (caída + em pé)	%	Liteira/tapete de raízes ^a	%	Abaixo do solo	%	Fonte	Notas
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: (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) fornecido 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 ≥10 cm DAP foi calculada a partir da Tabela 3.3, ano 1982. Da mesma forma a biomassa média foi estimada para árvores < 10 cm (9,35), as quais foram somadas às ervas de folhas largas (0,26) mencionadas na Tabela 3.4; (4), (5), (7), (23), (24): a liteira e o tapete de raízes foram considerados juntos; (6): a partir de Fearnside et al. (1993); (8), (10): média dos locais estudados pelos autores; (9): as estimativas são referentes apenas à liteira grossa lenhosa com diâmetro ≥20 cm (p. 37); (11): o valor usado para a biomassa de árvores ≥ 10 cm DAP foi aquele usado por Nascimento and Laurance (2002); (12): a biomassa de palmeiras não inclui indivíduos com DAP ≥10 cm, as quais representavam menos de 1% dos caules de todos os indivíduos ≥10 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 cm DAP; (14): para estimar a biomassa das árvores (≥10 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 ≥ 2 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) ≥10cm = 306,11 Mg ha⁻¹. Veja Anexo A (325,7 - 6% das árvores (19,5 Mg ha⁻¹) entre 1 e 10 cm DAP = 306,11). Palmeiras = 2,1 Mg ha⁻¹. A equação de Higuchi et al. (1998) foi usada para estimar a biomassa das árvores ≥5 cm DAP e as palmeiras a partir da equação de Saldarriaga et al. (1988). Árvores com DAP < 5 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 ≥10 cm (= 306,11) estimadas por Castilho et al. (2006). O valor de 2% foi adotado obtido pela equação de Putz (1983); (=6,3/306,11); (21): para palmeiras e lianas foi usado o mesmo percentual reportado pela autora que foi estimado em relação a biomassa das árvores ≥5cm. Para o sub-bosque o percentual não inclui caules 5-10 cm DAP. O peso fresco das raízes reportado por hectare foi convertido para biomassa seca assumindo 45,4% de umidade, calculado a partir das informações da Tabela 5.8c, pp. 66, 67. O percentual para raízes se refere a raízes ≥2 mm diâmetro na base. A estimativa de Castilho et al. (2006) foi usada para a biomassa das árvores ≥10cm DAP, obtida a partir de uma floresta similar e com 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 estimada pela equação de Brown et al. (1989). Palmeiras medidas somente para indivíduos com DAP ≥10 cm; encontrando-se percentual equivalente a 4% da biomassa das árvores ≥10 cm (Tabela 1). Biomassa abaixo do solo obtida por Nepstad (1989), que sugere 10% da biomassa das árvores ≥10 cm. Dados de troncos mortos em pé foram obtidos por 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 ≥10 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 depois da derrubada e secagem das árvores; (32): 91 árvores com 5-10 cm DAP foram completamente pesadas e replicadas para uma frequência esperada por hectare de acordo com Pereira et al. (2005): 102, 5 ± 24,5.

^a Alguns dos resultados reportados referem-se a produção anual de liteira, os quais podem diferir do estoque por unidade de área.

3. Resultados e Discussão

3.1. Equação alométrica de biomassa

Apesar de várias equações alométricas terem sido desenvolvidas nas florestas da Amazônia (Overman et al., 1999; Santos, 1996; Higuchi et al., 1998; Araújo et al., 1999; Chambers et al., 2001), não foram desenvolvidas equações baseadas em medições diretas em tipos de florestas não-densas, as quais são precisamente onde o desmatamento tem historicamente predominado (Brasil, INPE, 2008). Este é o caso da parte sul da Amazônia brasileira, onde floresta aberta e zona de contato (ecótono) sobre solos relativamente férteis prevalescem (Brasil, IBGE, 1997).

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 A. A Figura 1 demonstra claramente que a variância sobre a regressão linear aumenta com o DAP. Estatisticamente, a correlação entre média e variância pode ser controlada pela retirada de variáveis dependentes e independentes. Parâmetros alternativos obtidos após excluir uma árvore maior (único indivíduo >100 cm diâmetro acima de sapopemas, veja Fig. 1) são apresentados no Anexo B. As estimativas obtidas usando estes parâmetros diferem somente em 0,1% quando comparado a estimativas de biomassa obtidas a partir dos parâmetros descritos na Tabela 2 (tanto para as árvores amostradas somente quanto para a biomassa por hectare). Como somente uma árvore amostrada possuía diâmetro >100 cm, esta árvore tendo 124 cm de diâmetro, as equações devem ser consideradas impróprias para árvores no intervalo de 100-124 cm DAP.

Usando somente o diâmetro, o que é uma importante vantagem para uso prático, a equação desenvolvida neste estudo estimou com acuracidade a biomassa seca das árvores amostradas (subestimativa 1%) e a biomassa normalizada por hectare (subestimativa de 0,05%). As estimativas de biomassa por hectare foram obtidas após a normalização do número de árvores amostradas para o número de árvores em cada classe de diâmetro (intervalo de 5-cm), que foi obtido a partir de inventários em larga-escala (para detalhes veja Seção 2.1).

Tabela 2. Parâmetros de equações de biomassa [$\ln(\text{Peso seco}) = \alpha + \beta \ln(\text{Diâmetro})$] para árvores amostradas em floresta aberta no sul da Amazônia (SA) (variação do diâmetro 5-124 cm).

Modelo	Parâmetros ^a		β (\pm SE)	95% IC ^b		n	r^2 ajustado	SEE ^c	
	α (\pm SE)	95% IC ^b							
		Limite inferior		Limite superior	Limite inferior				Limite superior
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

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 as medidas de massa são expressas em Kg.

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

^b Intervalo de Confiança.

^c Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{quadrado médio dos resíduos}}$

Os resultados deste estudo demonstram que a utilização de equações desenvolvidas na Amazônia central para florestas no sul da Amazônia resultam em superestimativas (e.g., Brasil, MCT, 2004; Cummings et al., 2002). Três equações alométricas anteriormente publicadas, desenvolvidas em floresta densa na Amazônia central (CA) por Higuchi et al. (1998), Chambers et al. (2001) e Silva (2007) foram testadas. Todas as três equações da CA tendem a superestimar a biomassa das árvores menores no SA, enquanto subestimam a biomassa de árvores maiores. Apesar disso, a biomassa total das árvores amostradas estimada pelas equações da CA foi similar àquela obtida no campo (-0,8%, -2,2% e 1,6% para equações por Higuchi et al., 1998; Chambers et al., 2001 e Silva, 2007 respectivamente), devido a compensação pela super e subestimativa entre pequenas e grandes árvores (Figura 2). No entanto, quando a biomassa por hectare é estimada utilizando equações da CA as estimativas foram encontradas ser 6% maior para as equações publicadas 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 obtida pela equação de Silva (2007) é explicada pela superestimativa das árvores menores (Figura 2), visto que na floresta densa na CA há muitas árvores menores (veja Tabela 4 em Castilho et al., 2006). Para converter a massa fresca, estimada pelas equações de Higuchi et al. e Silva, em massa seca, um valor de 0,57 foi utilizado, assumindo um conteúdo de umidade de 43% para os componentes acima do solo das árvores, obtido a partir dos resultados de Silva (2007, p.67, Tabela 5.8c).

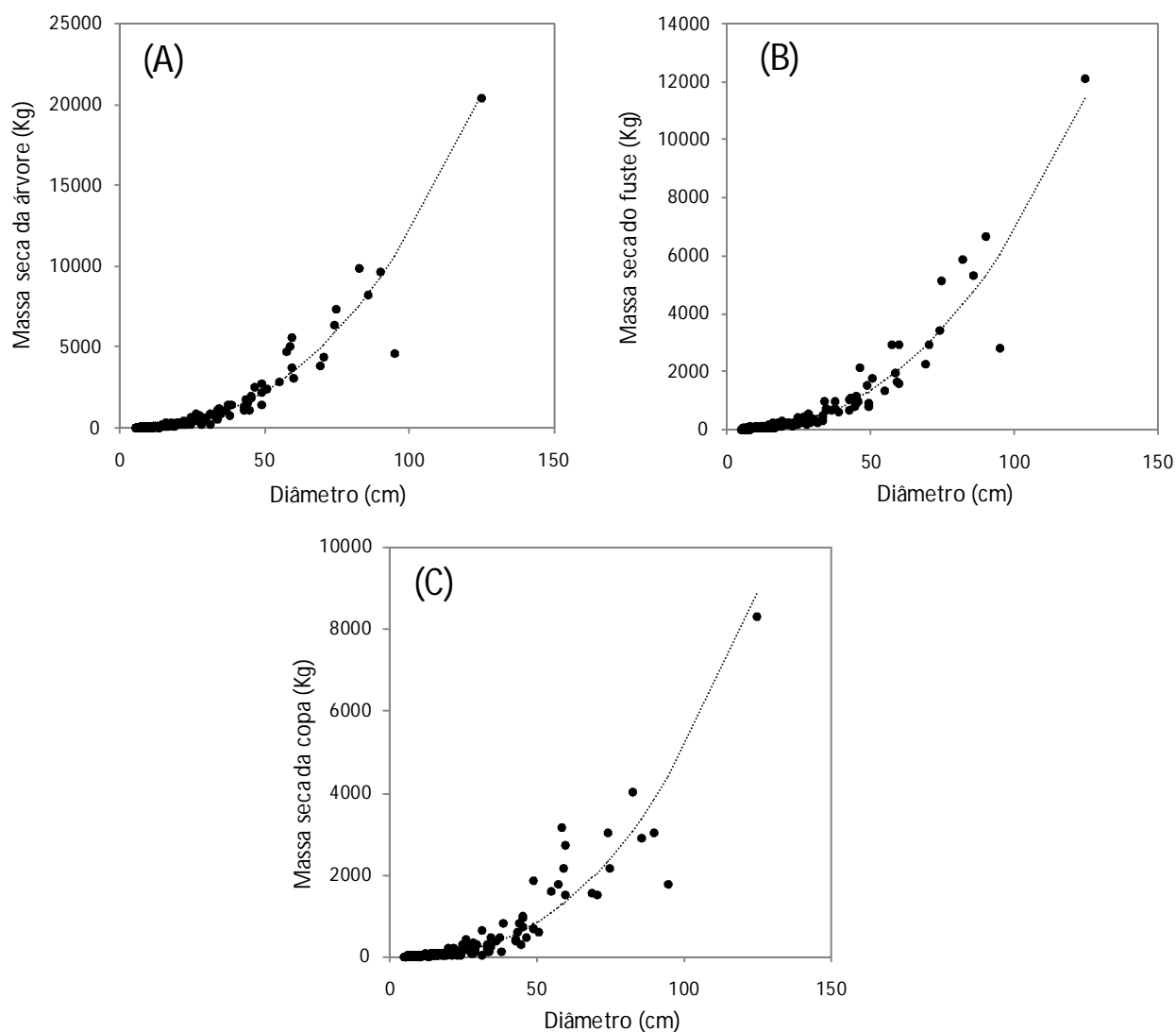


Figura 1. Relação entre o diâmetro e o peso seco (em Kg) da porção acima do solo de toda a árvore (A), do fuste (B) e da copa (C). As medições de diâmetro (em cm) foram feitas na altura do peito (1,30 m acima do solo) ou logo acima de qualquer sapopema. Cada árvore foi pesada diretamente. O peso seco 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 das equações.

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 tanto a biomassa das árvores amostradas quanto a biomassa normalizada por hectare (ambos superestimando em cerca de 4%). Surpreendentemente, as equações desenvolvidas por Chave et al. (2005) e Overman et al. (1994) fornecem ajustes e estimativas de biomassa muito similares, apesar da equação de Chave et al. ter sido desenvolvida a partir de 2410 árvores enquanto que a equação de Overman et al. ter usado somente 54 árvores. Estas duas equações resultaram em diferenças muito pequenas, basicamente devido às árvores menores. A equação quadrática publicada por Brown (1997) que foi utilizada por estudos anteriores em florestas no SA foi testada. Esta equação resultou em numa estimativa consistente das árvores amostradas (+1,8%), mas quando normalizada por hectare o erro aumenta para 6,5% (~17 Mg ha⁻¹). Este resultado difere da equação linear também publicada por Brown (1997), que superestimou a biomassa das árvores amostradas em 4,6%, mas superestimou em somente 2% quando normalizado por hectare. Também foram testadas outras equações publicadas anteriormente (Brown et al., 1989; as equações linear e quadrática em Chambers et al., 2001; Chave et al., 2001; a equação cúbica em Chave et al., 2005; equações em Silva, 2007 com diâmetro e altura; Santos, 1996 e Saldarriaga et al., 1988), mas todas as comparações resultam em erros maiores que as estimativas obtidas a partir das equações lineares e quadráticas de Brown (1997) ou em Chave et al. (2005), ou as equações de Overman et al. (1994) que incluem densidade de madeira e altura. Apesar de uma melhor descrição teórica do relacionamento escalar entre *Mass* α *Diâmetro*, equações que incluem somente diâmetro, desenvolvidas através de dados agrupados oriundos de várias regiões, podem não refletir adequadamente a verdadeira biomassa das árvores em uma dada região qualquer (Brown, 2002).

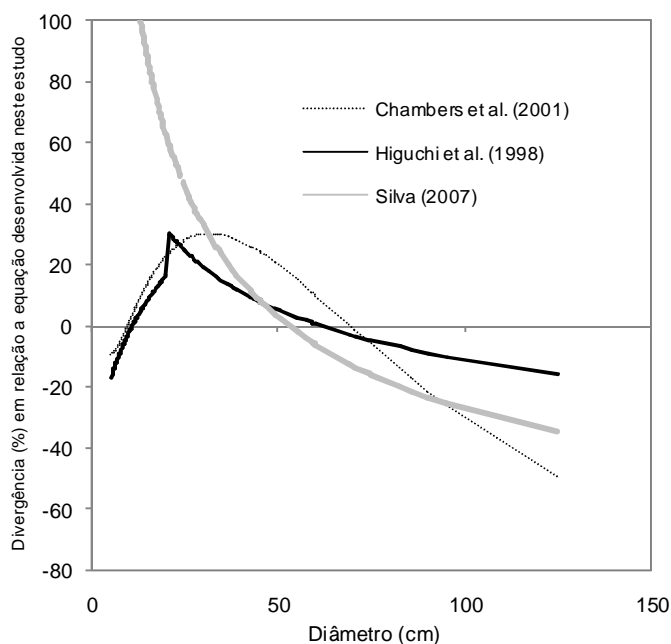


Figura 2. Divergência (%) da biomassa estimada por duas equações lineares [$DW = \exp(-1,754 + 2,665 \times \ln(D)) \times 0,57$; $DW = \exp(-0,151 + 2,17 \times \ln(D)) \times 0,57$] de Higuchi et al. (1998), pela equação cúbica de Chambers et al. (2001) [$DW = \exp(-0,37 + 0,333 \times \ln(D) + 0,933 \times \ln(D)^2 - 0,122 \times \ln(D)^3)$], e pela recente equação em potência [$\exp = (2,2737 \times D^{1,9156}) \times 0,57$] desenvolvida por Silva (2007), todas comparadas à equação linear desenvolvida neste estudo. As equações de Higuchi et al. 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).

A correção para diferença da densidade na madeira (relação = 0,593/0,67) foi aplicada sobre a biomassa estimada pela equação de Chambers et al. (2001) como proposto por Baker et al. (2004) e Malhi et al. (2006). Os resultados subestimaram a biomassa das árvores amostradas em 13,4%. Isto sugere erros nos mapas de biomassa publicados por Malhi et al. (2006). Similarmente, um recente estudo (Nogueira et al., 2008b) que aplica correções para caules mais curtos sobre as estimativas obtidas através da equação de Higuchi et al. (1998) implica em um erro ainda maior de subestimativa da biomassa para florestas abertas do SA. A subestimativa da biomassa por hectare devido a correções para densidade da madeira (como em Malhi et al., 2006) seria próxima a superestimativa resultante se a equação de Higuchi et al. (1998) é aplicada sem correções para a densidade de madeira. Apesar do aspecto lógico, correções simples para relações alométricas parecem ser um arriscado meio para obter ajustes de biomassa.

Considerando todas as árvores pesadas diretamente neste estudo, 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, devido o maior conteúdo de umidade nos tecidos da copa, tais como folhas e galhos finos. Estes dois 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 aérea da árvore inteira (Silva, 2007, p. 57) ou 34,4% (n = 38) de acordo com Higuchi et al. (1998). Foi avaliado se esta diferença pode ser explicada por um caule mais curto para um dado diâmetro nas árvores do SA (Nogueira et al., 2008b) ou porque o tamanho das copas das árvores no SA tende a ser maior que na CA. Os resultados obtidos por um modelo de biomassa de copa desenvolvido em floresta densa (Chambers et al., 2001) foram plotados sob os dados das copas pesadas diretamente na floresta aberta, permitindo concluir que as copas nas florestas abertas não são maiores que em floresta densa (Figura 3). Portanto, a maior proporção de biomassa estocada nas copas do SA quando comparado à massa dos fustes é devido somente aos fustes mais curtos nas florestas abertas quando comparados às florestas densas. Quando a equação para fuste também desenvolvida em floresta densa por Chambers et al. (2001) é utilizada, há uma superestimativa de 13% da biomassa dos fustes por hectare quando aplicada no SA.

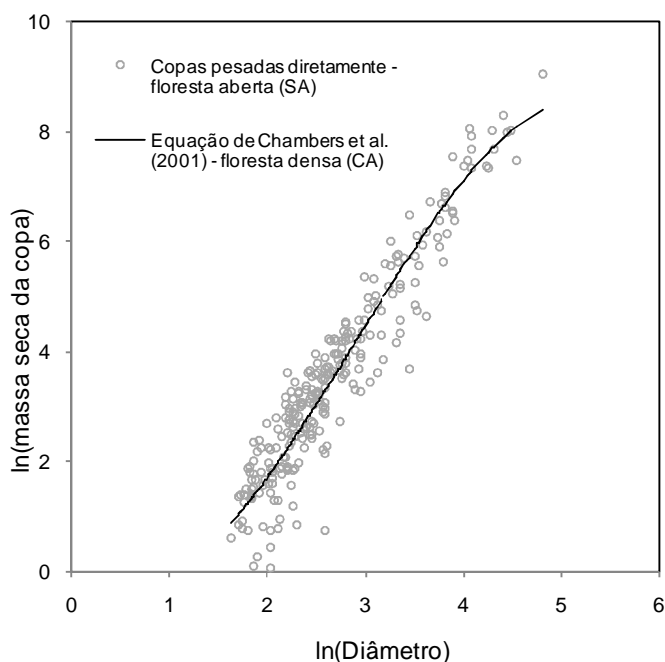


Figura 3. Equação para biomassa da copa desenvolvida em floresta densa, na Amazônia central (CA) por Chambers et al. (2001) plotada sobre a massa das copas diretamente pesadas em floresta aberta, no sul da Amazônia (SA). Medições de diâmetro são em cm; a massa da copa é expressa em Kg (peso seco).

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

As equações alométricas para volume de fuste que incluem correções para troncos irregulares e ocos juntamente com estimativas aperfeiçoadas de densidade de madeira (Nogueira et al., 2005) podem ajudar a reduzir incertezas com respeito a magnitude de emissões de gases de efeito estufa a partir do desmatamento e outras mudanças de uso da terra na Amazônia. As equações para estimativas de volume do fuste foram desenvolvidas para floresta densa na CA e para floresta aberta no SA (Tabela 3 e Figura 4 A-C). Todas as equações permitem que o volume do fuste seja corrigido para troncos ocos e irregulares baseando-se somente em medições de diâmetro convencional (acima do peito ou acima de sapopema), e também são um meio alternativo para evitar erros associados a estimativas de altura e afilamento. As equações também permitem incluir as árvores com diâmetro do fuste < 31,8 cm, as quais não foram inventariadas pelo Projeto RadamBrasil. Elas também possibilitam retificar erros em medidas de árvores publicadas pelos inventários em larga escala (e.g., volumes do RadamBrasil), identificando inconherências entre medições de diâmetro e altura.

As equações de volume desenvolvidas na Amazônia para estimativa do fuste comercial das árvores geralmente ignoram árvores não-comerciais, 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 abrangente inventário realizado na Amazônia central (72 ha; Castilho et al., 2006) demonstrou 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 são ‘fenestrados’ (incluindo *Minquartia guianensis*; *Geissospermum argenteum*, *G. urceolatum*). Estas árvores podem implicar em um substancial viés nas estimativas de volume, especialmente quando grandes árvores estão incluídas nas estimativas (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 indicando 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 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 estar presente em estudos que ajustam modelos de biomassa a partir desse conjunto de dados.

É necessário salientar que as equações de volume desenvolvidas neste estudo podem contribuir para avaliação de estoque de carbono e emissões por desmatamento, e que a tarefa de detecção de mudanças de biomassa na floresta em pé requer diferentes métodos baseados em monitoramento detalhado de árvores individuais (veja Fearnside, 2004).

Tabela 3. Parâmetros de equações de volume do fuste [$\ln(\text{Volume corrigido}) = \alpha + \beta \ln(\text{Diâmetro})$] na região central (CA) e no sul da Amazônia (SA).

Tipo de floresta	Parâmetros ^a									
	Intervalo de Diâmetro	α (\pm SE)	95% IC ^b		β (\pm SE)	95% IC ^b		n	r ² ajustado	SEE ^c
			Limite inferior	Limite superior		Limite inferior	Limite superior			
Floresta densa, CA	5 – 39,9	- 9,008 (0,091)	- 9,186	- 8,830	2,579 (0,031)	2,518	2,640	253	0,965	0,245
	40 – 106	- 6,860 (0,565)	- 7,996	- 5,723	1,994 (0,143)	1,706	2,281	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

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 acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são expressas em cm e o volume em m³.

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

^b Intervalo de Confiança

^c Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{quadrado médio dos resíduos}}$.

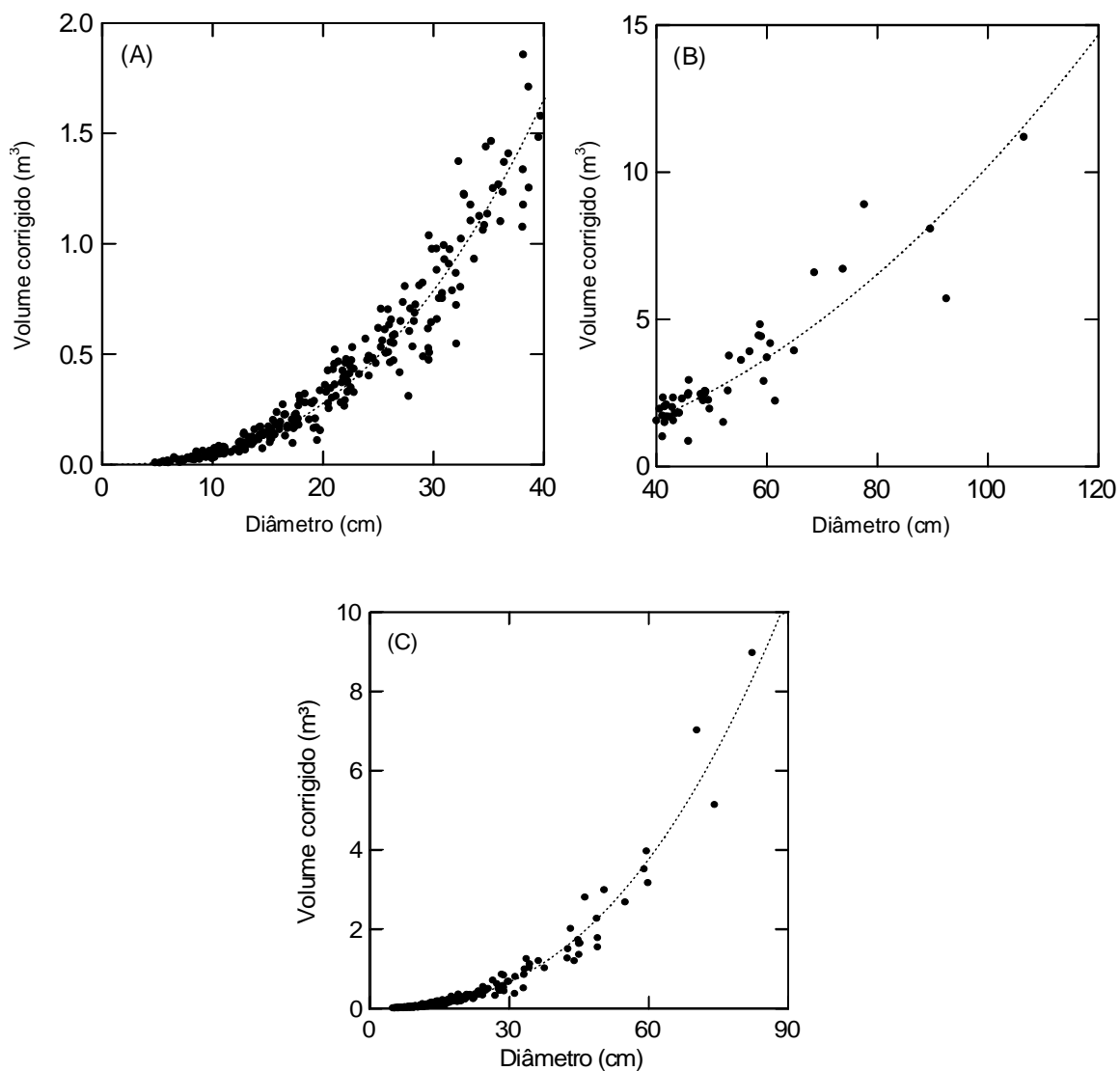


Figura 4. Relação entre Diâmetro e Volume corrigido considerando árvores com DAP 5-39,9 cm (A) e DAP 40-106 cm (B), ambas em floresta densa, e árvores com DAP 5-82 cm (C) em floresta aberta. As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo em floresta densa na Amazônia central ou 1,30 m em floresta aberta no sul da Amazônia) ou acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são expressas em cm e medições do volume do fuste em m³. Veja Tabela 3 para detalhes das equações.

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

Em geral, o fator de forma médio considerando as árvores de todos os tamanhos (diâmetro ≥ 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 na floresta aberta o afilamento das árvores de tamanho intermediário é maior que na floresta densa (Figura 5A e B). Por causa disso, 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 em floresta aberta (Tabela 4).

O fator de forma encontrado para árvores $\geq 31,8$ cm de diâmetro em floresta densa não difere significativamente do valor adotado 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 tipos de floresta aberta foram superestimados por cerca de 5%, conforme fator de forma médio de 0,66 encontrado na floresta aberta no sul da Amazônia (Tabela 4).

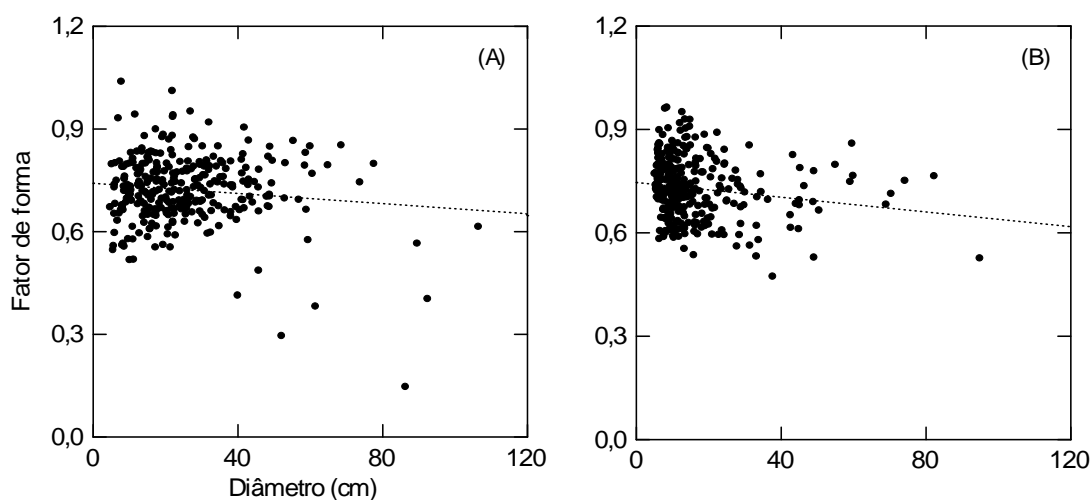


Figura 5. Afilamento do fuste (fator de forma) pelo tamanho da árvore em dois tipos de floresta: (A) Floresta densa, Amazônia central (CA) ($n = 299$) e (B) Floresta aberta, sul da Amazônia (SA) ($n = 300$). As medições de diâmetro foram feitas na altura do peito (1,36 m acima do solo na CA ou 1,30 m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

O método adotado neste estudo para calcular o fator de forma permite que uma estimativa adequada do afilamento médio do fuste seja obtida. Caso sejam usadas medições convencionais, o fator de forma médio encontrado é maior que os fatores obtidos pela relação entre o volume corrigido do fuste e o volume de um cilindro calculado através 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 os 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), obtido pelo 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, como mencionado acima, o fator de forma foi encontrado ser menor para árvores em floresta aberta (Tabela 4; Figura 5B). Ao analisar as árvores da 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 na floresta aberta usando medições não-corrigidas foi $0,760 \pm 0,075$ (média \pm d.p., $n=38$; árvores $\geq 31,8$ cm DAP); e 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 permitisse um ajuste consistente sobre a biomassa.

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).

Tamanho da árvore (diâmetro em cm):	Floresta densa, CA						Floresta aberta, SA					
	Árvores amostradas ^a			Normalizado por inventários ^a			Árvores amostradas ^a			Normalizado por inventários ^a		
≥ 5,0	0,721 ± 0,101	303	Aa	0,713 ± 0,099	1334	Aab	0,728 ± 0,090	300	Aa	0,721 ± 0,092	583	Aa
≥ 10,0	0,723 ± 0,101	267	Aa	0,724 ± 0,094	620	Aa	0,719 ± 0,091	200	Aa	0,716 ± 0,093	475	Aa
≥ 31,8	0,709 ± 0,129	82	Aab*	0,709 ± 0,129	96	Aab*	0,687 ± 0,095	30	Aa*	0,664 ± 0,098	57	Ab
≥ 50,0	0,655 ± 0,205	20	Ab*	0,661 ± 0,205	25	Ab*	0,726 ± 0,090	10	Aa*	0,724 ± 0,084	12	Aab*

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. Números em negrito indicam aqueles que são comparáveis com o valor 0,7 do RadamBrasil. 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.

^a Médias ± desvio padrão; número de árvores e comparação entre médias. Letras minúsculas iguais aparecendo na mesma coluna ou letras maiúsculas na mesma linha indica que os valores não diferem significativamente (Tukey test; 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).

Um estudo anterior na Amazônia central reporta 0,75 como fator de forma médio (Moura, 1994; DAP \geq 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 \geq 45 cm) para árvores amostradas neste estudo, enquanto que usando metodologia de medições ‘corrigidas’ a média foi $0,680 \pm 0,170$. Os resultados, em conjunto 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 das árvores grandes estocarem uma porção substancial da biomassa, elas têm pouca influência sobre o fator de forma médio, que é fortemente influenciado pelo grande número de árvores pequenas. Eliminando as árvores grandes (DAP \geq 50 cm; n = 20), o fator de forma médio aumenta em somente 2,5%, enquanto 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% com relação 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.

3.4. Fator de expansão de volume (VEF)

O VEF atualmente 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 se espera, obviamente, que os valores de VEF reportados aqui sejam maiores que os valores da literatura que não incluem árvores com DAP de 30-31,7 cm. O uso do VEF revisado dispensa uma correção separada derivada por Fearnside (1994) pela omissão do intervalo de DAP. As estimativas derivadas aqui foram obtidas a partir do volume do fuste corrigido para irregularidades e troncos ocos.

A subestimativa no valor do fator de expansão de volume (VEF) proposto por Brown et al. (1989) e Brown and Lugo (1992) foi encontrada somente para tipo de floresta densa. Em floresta densa na CA, árvores no intervalos entre 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 até agora nos modelos de biomassa para floresta densa estaria subestimado em cerca de 25%. Este valor é confirmado pelos resultados sobre estoque de biomassa em 20 parcelas de 1 hectare na Amazônia central (Nascimento and Laurance, 2002; Tabela 3), onde árvores com DAP ≥ 30 cm estocam somente 65,25% da biomassa aérea das árvores com DAP ≥ 10 cm. Neste caso, the VEF ($34,75/65,25 = 0,532$) seria 1,532 similar ao valor de 1,537 encontrado neste estudo. Outro abrangente estudo sobre biomassa na Amazônia central (Castilho et al., 2006) indicou similarmente que a biomassa estocada acima do solo em árvores com 10 a 30 cm DAP foi 36,2%, enquanto árvores ≥ 30 cm DAP continha 63,8% da biomassa de todas as árvores ≥ 10 cm DAP. O VEF neste caso seria 1,567. 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: Heinsdijk, 1957, 1958; Glerum, 1960; Glerum and Smitt, 1962) o valor apropriado do VEF seria 1,305.

Em conjunto, os resultados reforçam o fato que é necessário ajustes nas estimativas de biomassa para floresta densa devido a subestimativa no valor de VEF comumente usado.

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 até agora 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 logística operacional da companhia madeireira, proprietária da área de coleta.

3.5. Fator de expansão de biomassa (BEF)

O valor do fator de expansão de biomassa (BEF) está relacionado a variáveis estruturais da floresta, porque o BEF varia em função da biomassa dos fustes (Brown and Lugo, 1992). A variação regional da biomassa nas florestas da Amazônia pode afetar diretamente o valor de BEF.

O BEF (fator de expansão de biomassa) adotado até agora nas estimativas de biomassa para floresta densa (biomassa dos fustes inventariados $\geq 190 \text{ Mg ha}^{-1}$) é 1,74, valor que foi obtido por Brown et al. (1989) em parcelas que foram majoritariamente localizadas na Venezuela. O BEF proposto por Brown et al. (1989) exagera a biomassa que é estocada em árvores grandes quando é aplicado para florestas da Amazônia central, isto porque a biomassa estimada 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). Isto sugere que o valor de BEF na Amazônia central é menor que nas parcelas usadas por Brown et al. (1989). Além disso, Brown (1997) propôs uma nova equação para substituir a sua última equação (i.e., Brown et al., 1989) que tinha sido usada na derivação da estimativa do BEF, mas apesar disto, o mesmo valor de BEF continua a ser usado até agora para estimativas de biomassa baseadas em inventários de volume de madeira.

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 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 comumente adotado nas estimativas de biomassa resulta em uma 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 estão disponíveis. Um valor de BEF foi estimado para as parcelas deste estudo usando a equação alométrica desenvolvida por Brown and Lugo (1992) recomendada para uso onde a biomassa dos fustes é $\leq 190 \text{ Mg}$

ha⁻¹: BEF = exp(3,213 – 0,506 × ln(biomassa dos fustes). O valor de BEF encontrado foi 1,930, aproximadamente 18% maior que o valor de BEF reportado aqui.

3.6. Mapa de biomassa ajustado para a Amazônia brasileira

Estudos anteriores com novos dados sobre densidade de madeira reduzem incertezas na conversão do volume do fuste para a biomassa do fuste estimada para a Amazônia Brasileira como um todo (Nogueira et al., 2005, 2007; Fearnside, 2007). No caso dos resultados reportados neste estudo, as correções são derivadas para dados de volume de madeira inventariado, e para fatores usados para adicionar árvores menores e a biomassa das copas. 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 de árvores que permita assegurar que este efeito é esperado em larga-escala, não foi aplicado correções nas estimativas de biomassa. 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 aplicadas 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 pela variável 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 $\geq 190 \text{ Mg ha}^{-1}$. No tipo de floresta não-densa um valor de BEF de 1,58 foi encontrado para uma floresta com estoque de biomassa de 156 Mg ha^{-1} (peso seco) considerando todos os fustes $\geq 10 \text{ cm DAP}$. Assim, em tipos de floresta não-densa o valor de BEF de 1,58 foi usado somente para floresta com biomassa do fuste de $156 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 5\%$ ($148,2\text{--}163,8 \text{ Mg ha}^{-1}$), 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, com valores geralmente *decrecendo exponencialmente* a um valor de BEF constante 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 demonstrada na Figura 6. A biomassa total (abaixo e acima do solo) para a Amazônia Brasileira usando os valores corrigidos é 123,1 Gt (1 Gt = 1 bilhão de toneladas) de peso seco, ou 59,7 Gt C assumindo que $1 \text{ Mg de biomassa seca} = 0,485 \text{ Mg C}$ (Silva, 2007). A biomassa acima do solo somente é 102,3 Gt (49,6 Gt C). A biomassa total estocada e a biomassa acima do solo foram estimadas em 12 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 nas Tabelas 5 e 6. Considerando somente $0,501 \times 10^6 \text{ Km}^2$ de desmatamento até 2006 para os quais foi estimada a biomassa – i.e., excluindo áreas de não-floresta, áreas desmatadas anteriormente a 1976 e alguns tipos de floresta com insuficiente dados nos inventários do RadamBrasil – o estoque foi reduzido para 105,4 e 87,6 Gt (ou 51,1 e 42,5 Gt C), respectivamente para abaixo e acima do solo juntas e somente acima do solo, excluídas áreas não-florestais, áreas desmatadas anteriormente a 1976 e alguns tipos de floresta com insuficiente dados inventariados pelo Projeto RadamBrasil (Tabela 7).

O mapa de biomassa a partir de inventários em larga-escala de volume de madeira demonstra menor estoque de biomassa, em geral, quando comparado a estudos anteriores. O padrão espacial da distribuição da biomassa reportada neste estudo é similar à distribuição reportada por Saatchi et al. (2007) para florestas no centro sul da Amazônia (noroeste do Mato Grosso e sul do Pará) e para a porção nordeste da região (Amapá e nordeste do Pará). As estimativas de Saatchi et al. (2007) foram obtidas a partir de dados mensurados de 280 parcelas em florestas primárias distribuídas pela Amazônia (aproximadamente metade das quais foram no Brasil) juntamente com calibrações baseadas em classificações das florestas por sensoriamento remoto. A metodologia é portanto diferente daquela adotada neste estudo, que é baseado em 2702 parcelas na Amazônia Brasileira juntamente com ajustes para alometria e densidade obtida em diferentes florestas.

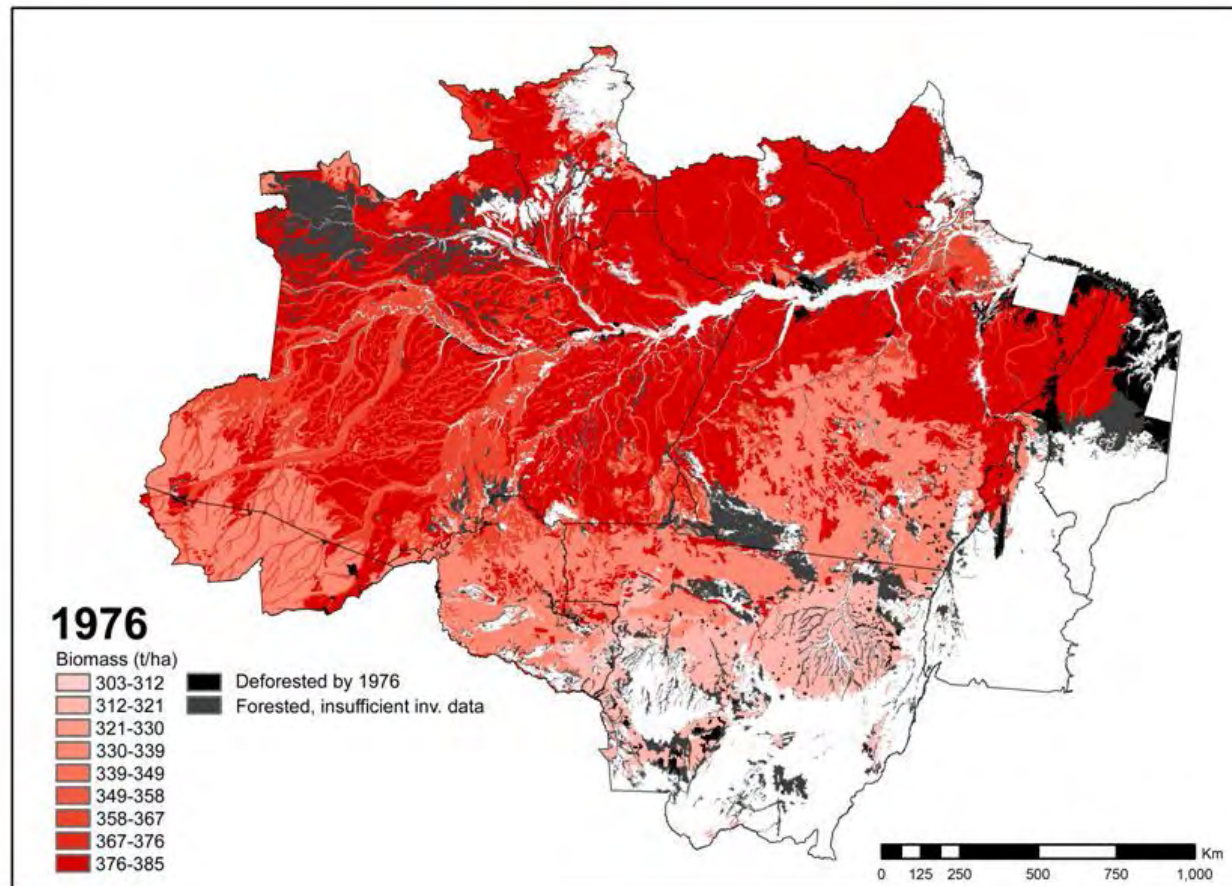


Figura 6. Mapa da biomassa acima + abaixo do solo (peso seco) para a Amazônia Legal Brasileira baseado em 2702 parcelas inventariadas pelo Projeto RadamBrasil (Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983). Estas estimativas não cobrem áreas não-florestais (em branco), áreas desmatadas anterior a 1976 (em preto), e alguns tipos de florestas com insuficiente dados inventariados pelo RadamBrasil (em cinza). Para outros detalhes veja Tabela 7.

Tabela 5. Biomassa florestal acima + abaixo do solo e somente acima do solo [em colchetes] por estado para o ano de 1976. A coluna “Classes de biomassa” é representada em unidades de toneladas ha⁻¹. Todas as outras colunas estão em milhões de toneladas para o estado como um todo, mas excluindo algumas áreas com ausência de dados (veja métodos e Tabela 7).

Classes de biomassa*	Acre	Amapá	Amazonas	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins
303				0,047	130,240		10,825		
[252]				[0,039]	[108,619]		[9,028]		
309								21,634	
[258]								[18,042]	
311					22,962		7,757		
[259]					[19,150]		[6,469]		
314			39,525		38,925		95,238		
[262]			[32,962]		[32,462]		[79,426]		
316					6457,241	1,125	482,833	149,050	0,909
[264]					[5394,602]	[0,940]	[403,375]	[124,522]	[0,760]
336	3579,075	1,431	4198,171		4588,931	9686,806	4365,737	326,904	337,526
[280]	[2984,941]	[1,193]	[3501,266]		[3827,159]	[8078,776]	[3641,016]	[272,637]	[281,496]
361	817,947	151,836	9912,632	70,589	94,526	1828,517	226,455	732,179	4,130
[300]	[678,377]	[125,928]	[8221,199]	[58,544]	[78,396]	[1516,509]	[187,814]	[607,262]	[3,425]
363	0,151		4677,466	0,0002	342,502	1082,842	749,243	129,000	28,978
[303]	[0,126]		[3900,998]	[0,0002]	[285,646]	[903,089]	[624,868]	[107,585]	[24,168]
385	757,279	3817,620	30426,173	2003,563	1046,825	24545,478	661,645	4041,554	387,448
[320]	[628,082]	[3166,303]	[25237,091]	[1661,738]	[868,228]	[20357,810]	[548,764]	[3353,797]	[321,347]
Total	5154,454	3970,888	49253,969	2074,200	12722,155	37144,770	6599,737	5400,323	758,993
	[4291,528]	[3293,425]	[40893,519]	[1720,321]	[10614,267]	[30857,126]	[5500,762]	[4483,848]	[631,196]

*Classes de biomassa correspondendo a 12 tipos de florestas, como segue:

303 t ha⁻¹ = "Porção florestada da zona de contato entre savana e floresta sazonal";

309 t ha⁻¹ = "Floresta sazonal semidecídua sobre terras baixas não inundadas";

311 t ha⁻¹ = "Ecótono ou zona de contato entre floresta úmida e floresta sazonal";

314 t ha⁻¹ = "Porção florestada da zona de contato entre savana e floresta úmida";

316 t ha⁻¹ = "Floresta sazonal semidecídua submontana";

336 t ha⁻¹ = "Floresta úmida aberta submontana";

361 t ha⁻¹ = "Floresta úmida densa aluvial" + "Floresta úmida densa montana";

363 t ha⁻¹ = "Floresta úmida aberta sobre terras baixas não inundadas";

385 t ha⁻¹ = "Floresta úmida densa sobre terras baixas não inundadas" + "Floresta úmida densa submontana" + "Porção florestada da zona de contato entre floresta úmida e campina".

Tabela 6. Biomassa florestal abaixo + acima do solo e somente acima do solo [em colchetes] por estado para o ano de 2006. A coluna “Classes de biomassa” é representada em unidades de toneladas ha⁻¹. Todas as outras colunas estão em milhões de toneladas para o estado como um todo, mas excluindo algumas áreas com ausência de dados (veja métodos e Tabela 7).

Classes de biomassa	Acre	Amapá	Amazonas	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins
303				0,047	50,060		3,373		
[252]				[0,039]	[41,749]		[2,813]		
309								17,501	
[258]								[14,595]	
311					15,848		2,086		
[259]					[13,217]		[1,739]		
314			34,383		38,892		79,511		
[262]			[28,674]		[32,435]		[66,310]		
316					3848,410	0,423	214,875	134,920	0,471
[264]					[3215,095]	[0,353]	[179,514]	[112,716]	0,394
336	3369,259	1,431	4119,170		2971,804	7542,797	2658,219	308,075	40,537
[280]	[2809,955]	[1,193]	[3435,379]		[2478,478]	[6290,677]	[2216,950]	[256,934]	[33,808]
361	700,623	142,078	9699,186	15,614	63,169	1668,715	207,692	727,656	0,517
[300]	[581,073]	[117,835]	[8044,174]	[12,950]	[52,390]	[1383,975]	[172,252]	[603,511]	[0,429]
363	0,151		4616,366		325,547	933,304	573,848	112,736	3,667
[303]	[0,126]		[3850,041]		[271,505]	[778,374]	[478,588]	[94,022]	[3,058]
385	481,722	3769,461	29775,729	749,654	844,344	20325,373	353,792	3821,346	50,256
[320]	[399,537]	[3126,361]	[24697,618]	[621,756]	[700,293]	[16857,693]	[293,433]	[3171,133]	[41,682]
Total	4551,757	3912,972	48244,836	765,316	8158,078	30470,614	4093,399	5122,236	95,451
	[3790,692]	[3245,390]	[40055,889]	[634,746]	[6805,166]	[25311,074]	[3411,601]	[4252,914]	[79,373]

Tabela 7. Detalhes sobre áreas para as quais a biomassa foi estimada na Amazônia Legal brasileira, em 1976 e em 2006. Cada unidade representa 1 km².

Classes*	Acre	Amapá	Amazonas	Maranhão	Mato Grosso	Pará	Rondônia	Roraima	Tocantins
1	18554	2450	32223	94078	198082	212383	80356	8024	29806
2	3050	7890	149484	80418	134508	99719	18231	16607	19007
3	1143	6962	144281	20440	76662	69338	11445	16015	7601
4	2401	930	3124	41801	13976	24981	3898		3695

*Classes:

1 = Desmatamento até 2006; **2** = Porção da extensão da floresta primitiva faltando dados do RadamBrasil; **3** = Porção da extensão de floresta em 2006 faltando dados do RadamBrasil; **4** = Desmatamento anterior a 1976; biomassa não estimada.

O mapa resultante deste estudo demonstra razoável coerência com os tipos de vegetação e com a topografia de toda a bacia, especialmente na borda sul da floresta, área crítica devido o desmatamento. Nas 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 demonstram claramente menor biomassa. No estado do Acre, a biomassa está possivelmente superestimada para as florestas dominadas por bambu (Nelson et al., 2006), visto que estas florestas não foram diferenciadas em outras classes de vegetação. Os resultados têm um impacto substancial sobre as estimativas de biomassa e emissão de carbono obtidas através de inventários em larga-escala de volume da floresta na Amazônia brasileira. Os resultados também implicam em mudanças nas estimativas de biomassa derivadas a partir de equações alométricas (Baker et al., 2004; Malhi et al., 2006), visto que uma nova equação alométrica é proposta para o sul da Amazônia. Os ajustes reduzem discrepâncias entre estudos desenvolvidos usando diferentes métodos e reduzem incertezas nas estimativas de biomassa na Amazônia quando elas são obtidas ou a partir de volume inventariado de madeira ou a partir de equações alométricas.

4. Conclusões

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 e geralmente disponível em inventários florestais padrão. Os resultados indicam maior estocagem de biomassa nas copas das árvores (quando comparado com os fustes das mesmas árvores) no sul da Amazônia (SA) que na Amazônia central (CA), devido os fustes serem mais curtos para um dado diâmetro nas árvores do SA. Os resultados confirmam que equações anteriormente desenvolvidas na CA superestimam a biomassa se aplicada para árvores no SA. Uma nova equação alométrica foi necessária para o SA porque aplicando correções simples nas equações alométricas existentes da CA, para o efeito de menor densidade de madeira e fustes mais curtos, não produziram resultados satisfatórios já que a biomassa resultante foi subestimada quando comparada a medições diretas no SA. As relações alométricas da CA e SA foram utilizadas para ajustar as estimativas regionais de biomassa obtidas a partir de inventários em larga-escala de volume de madeira. 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 valores até

então utilizados para adicionar a biomassa das copas (fator de expansão de biomassa) em 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 examinada neste estudo, as equações que têm sido usadas para adicionar a biomassa das copas superestimam este componente em cerca de 18%, por isso uma nova equação alométrica é proposta. Finalmente, todas as correções foram aplicadas para ajustar as estimativas e produzir um mapa de biomassa para a Amazônia Brasileira a partir de 2702 parcelas inventariadas pelo RadamBrasil. O estoque total de carbono (abaixo e acima do solo) estimado para o período dos inventários foi 59,7 Gt (1 Gt = 1 bilhão de toneladas) para a Amazônia Brasileira como um todo (excluindo áreas não-florestadas). O desmatamento até 2006 reduziu o estoque na biomassa florestal para 51,1 Gt C. De modo geral, os resultados reduzem as estimativas de estoque de biomassa para a Amazônia brasileira. Eles também reduzem as discrepâncias entre estimativas anteriormente publicadas e reduzem as incertezas nas estimativas a partir de equações alométricas e inventários de volume de madeira, bem como as diferenças quando estes dois métodos são comparados.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (350230/97-8; 465819/00-1; 470765/2001-1; 306031/2004-3; 557152/2005-4; 420199/2005-5), ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (PPI 1-3160; PRJ05.57), e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM por terem fornecido o suporte financeiro. Nós agradecemos a J.B. Ferraz por permitir o uso de um veículo para trabalho de campo. Nós somos agradecidos à Fazenda São Nicolau (ONF-Brasil/PEUGEOT) pelo acesso a área da Fazenda, pela acomodação e suporte na alimentação. Agradecemos à Rohden Indústria Lígnea Ltda pelo acesso a sua área de floresta e pelo suporte no campo; a Vicente DaRiva e Imbrózio pelo acesso a suas terras. Também agradecemos às famílias Knidel e Cecílio pela acomodação em Juruena; à Alzelindo Chave Vieira, Leandro José, Joel Rodrigues do Carmo e José Carlos de Lima pelo trabalho no campo; a Evandro Selva e Gheorges W. Rotta pelo suporte de laboratório. Nós somos gratos a C. Castilho, T. Feldpausch e N. W. V. Pereira pelo uso de seus dados sobre inventários de árvores. Robin Chazdon, Ted Feldpausch e Bruce Williamson forneceram valiosos comentários.

Referências

- 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.
- Araújo, T.M., Higuchi, N., Júnior, J.A.C., 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.
- 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.
- Brasil, IBGE, 1997. Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal (CD-ROM). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, Brasil.
- Brasil, INPE, 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite, Projeto PRODES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brasil. <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital>.
- Brasil, 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.
- Brasil, Projeto RadamBrasil, 1973-1983. Levantamento de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, vols. 1-23, Rio de Janeiro, Brasil.
- 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., Lugo, A.E., 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17, 8-18.

- 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, 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, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35, 881–902.
- 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.
- Cook, D.R., Weisberg, S., 1982. *Residuals and Influence in Regression*. Chapman and Hall, New York, U.S.A, 230 pp.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- Fearnside, P.M., 1994. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. In: Emissão × Seqüestro de CO₂: Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, Brasil, pp. 95–124.
- Fearnside, P.M., 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90, 59-87.
- Fearnside, P.M., 2000. 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., Laurance, W.F., 2003. Comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". *Science* 229, 1015a.
- 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.
- 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.
- 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.

- Feldpausch, T.R., McDonald, A.J., Passos, C.A.M., Lehmann, J., Riha, S.J., 2006. Biomass, harvestable area, and forest structure estimated from commercial timber inventories and remotely sensed imagery in southern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 233, 121–132.
- 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.
- Franken, M., Irmler, 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.
- 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 n° 1250. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 67 pp.
- 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 n° 1483. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 137 pp.
- 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.
- 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 n° 601600. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 135 pp.
- 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 Capim, FAO Report n° 992. Expanded Technical Assistance Program (FAO/58/10/8131), Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 83 pp.
- 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.
- 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.
- 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, Paris, France, 18 pp.
- Jirka, S., McDonald, A.J., Johnson, M.S., Feldpausch, T.R., Couto, E.G., Riha, S.J., 2007. Relationships between soil hydrology and forest structure and composition in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Vegetation Science* 18, 183–194.
- 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.
- 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 terra firme forest of the Amazon basin. *Acta Científica Venezuelana* 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.* Springer-Verlag, Nova York, USA, pp. 115-122.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. *Forest Inventory.* BLV Verlagsgesellschaft. Munich, Germany, 469 pp.

- 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, Brasil, pp. 413-530.
- Magnusson, W.E., Mourão, G., 2005. Estatística sem matemática – a ligação entre as questões e as análises. Editora Planta, Londrina, Paraná, Brasil, 138 pp.
- 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.
- 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, Brasil, 72 pp.
- 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, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, 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, Brasil. 114 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., Oliveira, A.C., Vidalenc, D., Smith, M., Bianchini, M.C., Nogueira, E.M., 2006. Florestas dominadas por tabocas semi-escandentes do gênero *Guadua*, no sudoeste da Amazônia. In: Anais do Seminário Nacional de Bambu. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. pp. 49-55.
- Nepstad, D.C., 1989. Forest regrowth on abandoned pastures in eastern Amazonia: Limitations to tree seedling survival and growth. PhD Thesis, Yale University, New Haven, Connecticut, U.S.A., 234 pp.
- 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, U.S.A., 842 pp.
- 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, Brasil. 55 pp.
- 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., 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., 2008a. Normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 256, 990-996.
- Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M., França, M.B., Oliveira, A.C.A., 2008b. Tree height in Brazil's 'arc of deforestation': shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management* 255, 2963-2972.
- 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.
- 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, Brasil. 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.
- 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, nº 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.
- 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, Brasil. 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, Brasil. 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, Brasil. 277 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, Brasil. 76 pp.
- Ribeiro, J.E.L.S., Hopkins, 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, Brasil. 816 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.
- 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.
- Santos, J., 1996. Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. PhD Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 121pp.
- 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, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia /Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, 152 pp.
- Summers, P.M., 1998. Estoque, decomposição e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra-firme na Amazônia Central. Master's Thesis. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. 105pp.
- 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.

- 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.
- Wilkinson, L., 1990. SYSTAT: The system for statistics. SYSTAT Inc., Evanston, Illinois, U.S.A.
- Yamazaki, D.R., Costa, A.M.R., Azevedo, W.P., 1978. Projeto RADAMBRASIL, Folha SA. 20, Parte III – Pedologia. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, pp. 247-410.

Anexo A. 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>Sclerolobium</i> sp.	5,793	8,279	2,463	<i>Sclerolobium</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>Sclerolobium</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>Sclerolobium</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 A (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>Diptotropis 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>Diptotropis 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 A (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</i> sp.	15,279	60,103	52,505
<i>Hirtella</i> cf. <i>racemosa</i> Lam.	12,414	95,553	37,309	<i>Couratari</i> sp.	15,438	67,562	15,353
<i>Naucleopsis glabra</i> Spruce ex Pittier	12,541	51,467	25,414	<i>Cheilochlinium 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</i> cf. <i>spruceanum</i> Mull. Arg.	15,979	72,794	33,588
<i>Siparuna</i> sp.	13,210	40,584	9,222	<i>Aspidosperma</i> cf. <i>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</i> cf. <i>pulcherrimum</i> Ducke	13,369	80,773	28,558	<i>Ocotea</i> sp.	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</i> cf. <i>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</i> aff. <i>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 ducleana</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</i> cf. <i>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</i> sp.	18,621	98,250	67,910
<i>Pouteria</i> cf. <i>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</i> sp.	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>Cheilochlinium 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</i> sp.	19,735	157,565	77,552
<i>Protium</i> sp.	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 A (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>Tratinnickia</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 prieurii</i> A.DC.	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>seiferum</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>Diplotropis 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>Tovomita</i> sp.	34,473	738,246	446,553	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	124,777	12118,577	8297,383

Anexo B. Parâmetros das equações de biomassa desenvolvidas excluindo a única árvore com diâmetro acima da sapopema > 100 cm (veja Figura 1). Todas as árvores foram amostradas em floresta aberta no sul da Amazônia (SA) (diâmetros 5-95 cm). As medidas de diâmetro foram feitas à altura do peito (1,30 m above the ground) ou acima de qualquer sapopema. Medições de diâmetro são em centímetro e medidas de massa em Kg.

Modelos	Parâmetros ^a [$\ln(\text{Peso seco}) = \alpha + \beta \ln(\text{Diâmetro})$]								
	α (\pm SE)	95% IC ^b		β (\pm SE)	95% IC ^b		n	r^2 ajustado	SEE ^c
		Limite inferior	Limite superior		Limite inferior	Limite superior			
Árvore inteira	- 1,717 (0,081)	- 1,875	- 1,558	2,413 (0,029)	2,355	2,471	261	0,963	0,307
Fuste	- 1,926 (0,094)	- 2,112	- 1,740	2,334 (0,035)	2,266	2,402	261	0,946	0,359
Copa	- 3,358 (0,148)	- 3,651	- 3,066	2,579 (0,054)	2,473	2,686	260	0,897	0,565

^a Todos os valores dos parâmetros são significativos ($p \leq 0,0001$).

^b Intervalo de Confiança

^c Erro Padrão de Estimativa (SEE) = $\sqrt{\text{quadrado médio dos resíduos}}$