

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

**Equações alométricas, estoque de biomassa e teores de
carbono e nitrogênio de campinaranas da Amazônia central**

Cecília Pires Isaac Borges Woortmann

Manaus – Amazonas

2010

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

**Equações alométricas, estoque de biomassa e teores de
carbono e nitrogênio de campinaranas da Amazônia
central.**

Cecília Pires Isaac Borges Woortmann

Orientador: Joaquim dos Santos, Ph.D

Co-orientador: Niro Higuchi, Ph.D

Fonte financiadora: CNPq

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais – INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração em Manejo Florestal

Manaus – Amazonas

2010

W917

Woortmann, Cecília Pires Isaac

Equações alométricas, estoque de biomassa e teores de carbono e nitrogênio de campinaranas da Amazônia central / Cecília Pires Isaac Woortmann. --- Manaus : [s.n.], 2010. xiii, 91 f. : il. color.

Dissertação (mestrado)-- INPA, Manaus, 2010

Orientador : Joaquim dos Santos

Co-orientador : Niro Higuchi

Área de concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Dinâmica florestal – Amazônia. 2. Carbono. 3. Nitrogênio. 4. Campinarana. 5. Alometria. 6. Biomassa. I. Título.

CDD 19. ed. 574.526

Sinopse:

Desenvolveu-se equações alométricas de biomassa para campinaranas da região de Manaus e estudou-se os teores de carbono e nitrogênio de árvores dessa fitofisionomia.

Com muito amor dedico este
trabalho aos meus guias
superiores.

Agradecimentos

Eu tenho muito a agradecer, principalmente a Deus por minha maravilhosa vida. Quanto a este trabalho creio que os agradecimentos constituem uma das partes mais importantes da dissertação. É aqui que posso mostrar que ele foi realizado por muitas outras pessoas.

Primeiramente agradeço ao Niro Higuchi, que além de me orientar nesta dissertação, me guiou em várias outras questões profissionais e pessoais, sendo um padrinho para toda vida. Agradeço ao meu outro querido orientador Joaquim dos Santos que me apoiou em todos os momentos. Ao queridíssimo Henrique Nascimento, agradeço as dicas, conversas e a paciência. Agradeço ao INPA e ao CNPq pela oportunidade de realizar este mestrado.

Muito obrigada à família ZF-2: Wandeco, Sr. Armando, Carogo, Chicó, Nêgo, Dila, Sr. Nel, Quinta, Geraldinho, Bico, Bertran, Paulinho, Zezão, Geraldão e Bitonho. Agradeço aos colegas e amigos do LMF: Rose, Adélia, Sheila, Fabiana (meninas, valeu pelas pesagens!!!!), Adriano, Vila (valeu pelas identificações!), Rose (Pibic) (valeu por tudo!), Milena, Janaína, Tapioca (valeu pelo mapa e identificações botânicas!!!), Giga, Caíque, Gaza, Flávia e Flavinha. À minha família Manauara: Mi, Arara, Dri, Guiga, Gabriel, Jah, Cris, Su, Inamara e Sani.

Muito obrigada ao Marcelo do laboratório de triagem que me ajudou com as estufas e moinho. Obrigada a Marcela Amazonas do Laboratório de Papel e Celulose do INPA, que cedeu as estufas e as instalações do laboratório. Muito obrigada a Tânia Pimentel e ao Orlando do Laboratório Temático de Solos e Plantas por me ajudarem com as análises de carbono e nitrogênio.

Aos amigos e amigas de Manaus, Brasília e de diversas partes do mundo devo agradecer por tornar a minha caminhada cada vez mais divertida e feliz. Por último agradeço às pessoas mais importantes na minha vida, sem elas, NADA disso seria possível. Pai e Mãe, agradeço a vocês por me darem todo amor, apoio e ensinamentos necessários para seguir bem e feliz o meu caminho. Irmãs amadas: Ré e Fer e meus afilhadinhos Xande e Chico, vocês são flores do meu jardim! Por fim agradeço ao Mário, o grande amor da minha vida.

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. Fitofisionomias da Amazônia	4
3.2. Ecossistema de campina	6
3.2.1. Nomenclatura.....	6
3.2.2. Ocupação e origem.....	8
3.2.3. Campinas <i>versus</i> campinaranas.....	9
3.2.4. Caracterização de campinas.....	10
3.2.5. Caracterização das campinaranas.....	11
3.3. Biomassa e as mudanças climáticas	12
3.3.1. Método direto.....	15
3.3.2. Métodos indiretos.....	15
3.4. Biomassa de campinas e campinaranas.....	19
3.5. Carbono e relação C/N	20
3.6. Nitrogênio.....	21
4. MATERIAL E MÉTODO	23
4.1. Local de estudo	23
4.2. Biomassa.....	26
4.2.1. Coleta de dados de biomassa	26
4.2.2. Análise estatística de biomassa	31
4.3. Teores de água, carbono e nitrogênio.....	33
4.3.1. Teor de água.....	34
4.3.2. Teor de carbono e nitrogênio	35

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1. Descrição botânica das árvores coletadas.....	35
5.2. Estatística descritiva da estrutura das árvores coletadas.....	40
5.2.1. Distribuição diamétrica.....	42
5.3. Método direto – estudo de biomassa em parcelas fixas.....	43
5.3.1. Biomassa aérea (acima do solo) de parcelas fixas.....	43
5.3.1.1. Composição da biomassa aérea.....	44
5.3.2. Serapilheira de parcelas fixas.....	47
5.3.3. Biomassa individual das árvores.....	49
5.3.3.1. Biomassa aérea dos compartimentos das árvores.....	51
5.3.3.2. Biomassa das raízes grossas das árvores.....	54
5.4. Equações alométricas para estimar biomassa de campinaranas.....	54
5.4.1. Biomassa total (aérea e raiz).....	55
5.4.1.1. [DAP \geq 5 cm]; (n=100).....	55
5.4.1.2. [5 cm \leq DAP < 10 cm]; (n = 53).	57
5.4.1.3. [DAP \geq 10 cm]; (n=47).....	59
5.4.2. Biomassa acima do solo.....	60
5.4.2.1. [DAP \geq 5cm]; (n=100).....	60
5.4.2.2. [5 \leq DAP < 10 cm]; (n = 53).....	61
5.4.2.3. [DAP \geq 10 cm]; (n=47).....	63
5.4.3.2. [5 \leq DAP < 10 cm]; (n=53).....	65
5.4.3.3. [DAP \geq 10 cm]; (n=47).....	67
5.4.4. Biomassa de copa [DAP \geq 5cm]; n=100.	68
5.4.5. Biomassa de tronco [DAP \geq 5 cm]; n=100.....	70
5.5. Discussão geral sobre os modelos.....	71
5.6. Comparação dos modelos da floresta primária densa e campinarana da ZF-2.....	73
5.7. Teor de água.....	74
5.8. Teor de carbono e razão C/N.....	77
5.9. Nitrogênio.....	81
6. CONCLUSÃO.....	83
7. REFERÊNCIAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As três formações da campinarana pelo IBGE.....	7
Figura 2 - Mapa da distribuição geográfica de campinas e campinaranas da Amazônia brasileira	9
Figura 3 - Perfil de solo da campinarana ZF-2.....	24
Figura 4 - Carvões encontrados no solo da campinarana ZF-2	25
Figura 5 - A) Imagem Landsat de 2008 mostrando a localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST) ao norte de Manaus-AM; B) Imagem Google Earth do alojamento da EEST e área de campinarana deste estudo; C) Imagem Google Earth ampliada mostrando a localização das dez parcelas utilizadas neste estudo.....	26
Figura 6 - Pesagem de palmeiras.....	28
Figura 7 - Parcela somente com árvores	28
Figura 8 - Derrubada de árvore com motosserra	28
Figura 9 - Medição da altura comercial e total.....	29
Figura 10 - Pesagem dos troncos.....	29
Figura 11 - Separação de folhas.....	29
Figura 12 - Retirada de raiz.....	30
Figura 13 - O solo arenoso permitiu a retirada de raízes com o método de “alavanca”.....	30
Figura 14 - Esquema da parcela de 100 m ² dividida em 100 parcelas de 1 m ² e fotos da coleta da serapilheira.	30
Figura 15 - Amostras das partes das árvores para análise de água, carbono e nitrogênio.....	34
Figura 16 - Gráfico da abundância por família. Número acima das barras indica o número de indivíduos.....	40
Figura 17 - Gráfico da frequência observada e estimada dos diâmetros de 100 árvores da campinarana ZF-2.....	43
Figura 18 - Gráfico de dispersão da biomassa total acima do solo (BAS) de floresta primária densa (FPD) (Silva, 2007) e da campinarana da EEST (CAMP).	44
Figura 19 - Gráfico da composição da biomassa aérea de campinaranas	46
Figura 20 - Gráficos de dispersão de pontos (amostras) dos pesos de mudas, palmeiras e cipós da floresta primária densa (FDP) e da campinarana (CAMP).	47

Figura 21 - Gráfico da relação (%) entre biomassa total acima do solo e da necromassa da campinarana.....	48
Figura 22 - Necromassa da floresta primária (FPD) densa e campinarana da EEST (CAMP) ...	49
Figura 23 - Gráfico da proporção entre peso fresco aéreo e de raiz.....	50
Figura 24 - Fotos das raízes pivotantes da campinarana	50
Figura 25 - Distribuição de pontos da biomassa acima do solo e de raízes da floresta primária densa e da campinarana.....	51
Figura 26 - Distribuição proporcional da biomassa aérea das árvores.....	53
Figura 27 - Gráfico da relação da biomassa entre copa e tronco em porcentagem.	53
Figura 28 - Gráfico da relação percentual entre a biomassa de raízes mais grossas e menos grossas.	54
Figura 29 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; $DAP \geq 5$ cm (n=100)	56
Figura 30 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; $5 \leq DAP < 10$ cm (n = 53)	58
Figura 31 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; $DAP \geq 10$ cm (n=47)	59
Figura 32 - Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; $DAP \geq 5$ cm (n=100).	61
Figura 33 - Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; $5 \leq DAP < 10$ cm (n = 53)	62
Figura 34 - Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; $DAP \geq 10$ cm (n=47).....	63
Figura 35 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raíz; $DAP \geq 5$ cm (n=100).....	65
Figura 36 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raíz; $5 \leq DAP < 10$ cm (n=53)	66
Figura 37 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raíz; $DAP \geq 10$ cm (n=47).....	68
Figura 38 - Distribuição dos resíduos da biomassa de copa; $DAP \geq 5$ cm (n=100)	69
Figura 39 - Distribuição dos resíduos da biomassa de tronco; $DAP \geq 5$ cm (n=100).....	71
Figura 40 - Dispersão de pontos dos teores de água da parte aérea e de raiz.....	75
Figura 41 - Gráfico de dispersão de pontos dos teores de água dos compartimentos das árvores.	76
Figura 42 - Gráfico de dispersão de pontos das diferentes alturas do galho grosso, raiz mais grossa e tronco e valores das análises de variância (ANOVA).	77
Figura 43 - Gráfico de distribuição de pontos dos teores de carbono (%) em diferentes compartimentos das árvores da campinarana	78
Figura 44 - Gráfico da dispersão de pontos da relação C/N.....	80

Figura 45 - Gráfico de distribuição de pontos da quantidade de nitrogênio (g.kg^{-1}) em diferentes compartimentos das árvores da campinarana	82
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área das fitofisionomias do bioma Amazônia.	5
Tabela 2 - Caracterização do solo de platô, baixio e campinarana da ZF-20 e 5 cm de profundidade.....	25
Tabela 3 - Modelos alométricos de biomassa testados.....	32
Tabela 4 - Nome comum, nome científico e família das árvores	36
Tabela 5 -DAP, altura comercial (HC) e altura total (HT).....	41
Tabela 6 - Valores das probabilidades e de qui-quadrado das classes diamétricas.....	42
Tabela 7 - Pesos de massa fresca dos componentes da biomassa aérea de campinarana	45
Tabela 8 - Composição da biomassa acima do solo de campinarana (%).....	46
Tabela 9 - Biomassa e necromassa acima do solo de campinaranas.....	48
Tabela 10 - Peso fresco acima do solo e de raízes.....	49
Tabela 11 - Peso massa fresca dos compartimentos das árvores.	52
Tabela 12 - Peso massa fresca ponderado por compartimento	52
Tabela 13 - Equações da biomassa total para árvores de $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$	55
Tabela 14 - Equações da biomassa total para árvores da regeneração natural	57
Tabela 15 - Equações da biomassa total para árvores de $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$	59
Tabela 16 - Equações da biomassa acima do solo para árvores de $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$	60
Tabela 17 - Equações da biomassa total para árvores da regeneração natural	61
Tabela 18 - Equações da biomassa total para árvores de $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$	63
Tabela 19 - Equações de raiz para árvores de $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$	64
Tabela 20 - Equações da biomassa de raiz para árvores da regeneração natural.	65
Tabela 21 - Equações da biomassa de raiz para árvores de $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$	67
Tabela 22 - Equações da biomassa de copa para árvores de $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$	69
Tabela 23 - Equações da biomassa de tronco para árvores de $\text{DAP} \geq 5 \text{ cm}$	70

Tabela 24 - Comparação de erros ($S_{xy\%}$) das equações deste estudo com as de Silva (2007).	73
Tabela 25 - Erros das equações de Silva (2007) e das mesmas equações corrigidas pela altura dominante.....	74
Tabela 26 - Teor de água dos compartimentos das árvores.....	75
Tabela 27 - Teores de carbono (%) para diferentes compartimentos das árvores.....	78
Tabela 28 - Razão C/N dos compartimentos das árvores da campinarana.....	79
Tabela 29 - Quantidade de nitrogênio (g.kg^{-1}) nos diferentes compartimentos das árvores.	82

RESUMO

As campinaranas constituem um tipo vegetacional da floresta amazônica. Ocorrem sobre solos arenosos e fazem a transição da floresta densa com campinas, ou ocorrem isoladas dentro a floresta densa. O entendimento ecológico e a quantificação de produtos e serviços ambientais das campinaranas são passos fundamentais na sua conservação. Assim, o objetivo central deste trabalho foi desenvolver equações alométricas de biomassa aérea e de raízes e obter os teores de carbono e nitrogênio de uma campinarana da Amazônia central. O uso de equações alométricas é considerado o método mais preciso e rápido na obtenção da biomassa florestal, que deve ser estudada em questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima. O estudo do carbono e do nitrogênio visa principalmente o entendimento da ciclagem da matéria orgânica. A coleta de dados foi feita em uma campinarana da Estação Experimental ZF-2, que está entre as coordenadas geográficas 02°37' e 02°38' de latitude sul e 60° 09' e 60° 11' de longitude oeste, ou a 90 km da cidade de Manaus-AM. No total, cem árvores foram derrubadas e tiveram seus principais compartimentos (raízes grossas, galhos grossos e finos, troncos e folhas) pesados separadamente. O ajuste das equações alométricas foi realizado com a regressão dos pesos de massa fresca das árvores. Além disso, foram utilizadas parcelas fixas de 100 m² onde toda biomassa aérea foi coletada e pesada, para entendimento de sua composição, entre cipós, mudas, palmeiras e árvores. Os teores de água, carbono e nitrogênio foram determinados a partir de amostras retiradas dos compartimentos das árvores derrubadas, que foram secadas em estufa, moídas e analisadas em laboratório por cromatografia gasosa. Com isso obteve-se que 94% da biomassa total da campinarana é constituída por árvores com DAP maior ou igual a 5 cm. A melhor equação ajustada para estimar o peso fresco total foi: $\ln(\text{PF}_{\text{total}}) = -1,373 + 2,546 * \ln(\text{DAP})$ ($R^2=0,98$; $S_{xy\%}= 4,19$). O teor médio de água da vegetação foi de $0,42 \pm 0,008$ (IC 95%). O teor de carbono médio foi $47,5\% \pm 0,2$ (IC 95%) e a quantidade média de nitrogênio encontrada foi de $7,0 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,6$ (IC 95%). A razão C/N média foi de $110 \pm 5,6$ (IC 95%). O tipo de solo e a relação C/N das folhas da Campinarana da ZF-2 foram diferentes da campinarana da Reserva da Campina, localizada a 60 km de Manaus, mostrando que existe uma diferença que merece uma investigação mais profunda entre as campinaranas da Amazônia Central.

ABSTRACT

The campinarana is a heath vegetation type of the Amazon rainforest. They occur on sandy soils and represent the transition from dense forest to campina forest, or occur isolated amongst the dense forest. The ecological understanding and quantification of environmental goods and services of campinaranas are key steps in its conservation. The main objective of this work was to develop allometric equations for biomass above and below ground and also get the contents of carbon and nitrogen of a campinarana in central Amazonia. The use of allometric equations is considered the most accurate and fast method of getting the forest biomass, which should be studied on issues that concern forest management and climate change. The study of carbon and nitrogen is mainly the understanding of cycling of organic matter. Data collection was done in the campinarana Experimental Station ZF-2, which is located between the geographical coordinates 02 ° 37 'and 02 ° 38' south latitude and 60 ° 09 'and 60 ° 11' west longitude, or 90 km from the city of Manaus -AM. In total, one hundred trees were felled down, and their main components (coarse roots, stems, coarse branches, fine branches and leaves) were weighed separately. The adjustment of the allometric equations was performed with the regression of the weights of fresh mass of trees. In addition, we used fixed plots of 100 meters square where all biomass above ground was collected and weighed. This was done in order to understand their composition between vines, seedlings, palms and trees. Water, carbon and nitrogen contents were also determined from samples taken from different components of the felled trees. Thus it was found that 94% of the total biomass of campinarana consists on trees with DBH greater than or equal to 5 cm. The best fitted allometric equation for the total fresh biomass (above-ground + coarse roots) was: $\ln(\text{Total Biomass}) = -1.373 + 2.546 * \ln(\text{DBH})$ ($R^2 = 0.98$, $S_{xy\%} = 4.19\%$). The water content of vegetation averaged $0,42 \pm 0,008$ (CI 95%). The carbon content averaged $47,5\% \pm 0,2$ (CI 95%), and the nitrogen content averaged $7,0 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,6$ (CI 95%). The C:N rate averaged $110 \pm 5,6$ (CI95%). The soil type and C / N ratio of leaves of Campinarana ZF-2 were different from a campinarana in the *Reserva da Campina*, located 60 km from Manaus, showing that there clearly is a difference between campinaranas in the Central Amazon, thus it needs further investigation.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o INPE (2009), entre os anos de 2008 e 2009 a área desflorestada na Amazônia brasileira foi de 7.008 km², porém, entre 2001 e 2006 o desmatamento nunca foi menor que 15.000 km² por ano, significando que o processo de conversão da floresta para outros usos da terra vem diminuindo. Contudo, não se pode afirmar que a área desmatada seja pequena, pois 7.008 km² é uma extensão maior que o Distrito Federal, ou ainda, maior do que, aproximadamente, oitenta países do mundo.

Diminuir a área da maior floresta tropical do planeta implica em reduzir mais de ¼ de todas as espécies vivas existentes (Meirelles Filho, 2006), além de comprometer o regime de chuvas de todo país (Fearnside, 2004). Significa ainda a perda de diversos precursores químicos para a indústria biomédica, isso sem mencionar a beleza cênica, a riqueza cultural e outros valores intrínsecos à floresta.

A Amazônia exerce também papel fundamental no contexto das mudanças climáticas, pois é um grande reservatório de carbono. Essa característica pode ser vista tanto como uma ameaça, caso o carbono seja emitido para a atmosfera a partir dos desmatamentos, quanto uma oportunidade, caso comunidades e países recebam incentivos para manterem suas florestas em pé. No Brasil, já existem algumas experiências nesse sentido, como projetos de REDD¹ no mercado voluntário e o Fundo Amazônia (Fundo Amazônia, 2009).

A valoração desse serviço ambiental é feita, principalmente, pela quantificação do carbono estocado. Por sua vez, o estoque é calculado a partir da biomassa florestal, obtida pelo método direto ou indireto. O método direto consiste em cortar e pesar a vegetação contida em parcelas fixas. O método indireto, que é o mais amplamente utilizado, consiste em

¹ Redução das emissões por desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento.

estimar a biomassa utilizando modelos alométricos ajustados a partir dos dados obtidos pelo método destrutivo.

Assim, para melhorar as estimativas de estoque e fluxo de carbono na Amazônia é importante o desenvolvimento de equações alométricas de biomassa para cada sítio e fitofisionomia do bioma. Neste sentido, o presente trabalho teve como principal objetivo desenvolver equações alométricas de biomassa aérea e de raízes para uma fitofisionomia de campinarana, que ocorre sobre solos arenosos ao longo da Amazônia.

As equações alométricas deste estudo foram desenvolvidas utilizando-se dados coletados com a derrubada e pesagem de 100 árvores em uma área de campinarana na Amazônia central. Além disso, amostras de diferentes compartimentos das árvores (folhas, galhos, tronco e raízes) foram retiradas para obtenção dos teores de carbono e nitrogênio. Dados de biomassa multiplicados a esses teores podem contribuir no entendimento da ecologia e ciclagem do ecossistema.

Infelizmente, fitofisionomias menores como as campinas e campinaranas ainda são carentes de muitas dessas informações ecológicas. Isso pode ser um risco, pois a falta de informação pode culminar em uma baixa valorização desse tipo vegetacional. O ecossistema de campina ocupa 2,65% da superfície da Amazônia e têm grande importância ecológica e potencialidade econômica. Sua composição florística e faunística é bastante peculiar, com destaque ao alto endemismo de espécies de diferentes grupos taxonômicos. Além disso, possui um enorme potencial fármaco, já que a sua vegetação concentra grande quantidade de compostos secundários (Anderson *et al.*, 1975; Endo, 2005; Luizão, 2007).

Mesmo com essas características, é possível identificar grande descaso quanto à preservação da fitofisionomia. Uma evidência é o fato de a construção civil suprimir a vegetação para simples retirada de areia, outra, é o fato de não existir uma legislação específica que vise sua conservação. Espera-se que com mais estudos sobre essas áreas e

também com efetivo pagamento do carbono estocado, o rico ecossistema de campina, assim como outros tipos vegetacionais, sejam mantidos em pé na Amazônia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Desenvolver equações alométricas de biomassa aérea e de raízes e obter os teores de carbono e nitrogênio de campinaranas da Amazônia central.

2.2. Objetivos específicos

- Obter a biomassa total acima do solo de parcelas fixas (método direto) em campinaranas e definir a contribuição de cada um dos seus componentes (cipós, palmeiras, mudas, árvores e serapilheira) no peso total.
- Inventariar e pesar integralmente 100 árvores com DAP (diâmetro a altura do peito) maior ou igual a 5 cm para o desenvolvimento das equações alométricas de biomassa.
- Definir a contribuição das partes das árvores, como raízes, galhos, tronco e folhas, no peso total individual.
- Obter os teores de água, carbono e nitrogênio e a relação C/N (carbono / nitrogênio) da vegetação utilizando amostras das diferentes partes das árvores abatidas.
- Comparar as informações obtidas neste trabalho com aquelas de Silva (2007), que foi um estudo similar desenvolvido em floresta ombrófila densa adjacente à campinarana desta pesquisa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Fitofisionomias da Amazônia

De acordo com o IBGE (2008), o bioma Amazônia ocupa uma área de 4.196.943 km², correspondendo a 49,29% do território brasileiro. O bioma é composto por um mosaico de ecossistemas condicionados a grande diversidade de relevos, climas, ciclos hidrológicos, índices pluviométricos, insolação e umidade (Higuchi e Higuchi, 2004).

Para Prance (1992), grande parte da diversidade de ambientes da Amazônia pode ser explicada por diferentes formações geológicas. A bacia amazônica tem um formato de “C”, constituído por três áreas montanhosas. Ao norte é o escudo guianense e ao sul o escudo brasileiro formado por rocha pré-cambriana.

A rocha original se dividiu e o vale entre as duas partes encheu-se de sedimentos e formou a parte baixa da bacia. Durante o paleozóico ocorreu uma série de invasões marinhas, levando mais sedimentos. No terciário, o continente sul americano separou-se da África e, assim, a parte sul da Amazônia drenou para leste e a parte alta para oeste. Após esta fase, com o soerguimento dos Andes no quaternário, a drenagem para o oeste finalizou-se e formou-se um mar interior, que invadiu bastante o continente a leste. Durante os ciclos glaciais do quaternário, o nível do mar oscilou bastante e, com isso, nos períodos de cheia formaram-se lagos e pantanais e em épocas secas ocorriam grandes erosões de solo (Prance, 1992).

Prance (1992), em seu trabalho sobre a diversidade da flora amazônica, dividiu a diversidade de tipos vegetacionais, oriundas desses processos geológicos, em: floresta densa de terra firme, floresta aberta de terra firme, florestas de transição (florestas de palmeiras, lianas e bambus e floresta semidecídua), florestas montanas, florestas Inundáveis (Igapó e Várzea), savanas, formações sob areia branca (campinas e campinaranas) e outros tipos menores como o campo rupestre e o Pirizal.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) diferencia as regiões fitoecológicas da Amazônia em: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional semi-decidual, floresta estacional decidual, campinaranas, savanas e savanas estépicas (Tabela 1) (Veloso *et al.*, 1991; Veloso, 1992). Aproximadamente setenta e seis diferentes tipos de vegetação podem ser identificados dentro dessas sete categorias (Ribeiro *et al.*, 1999).

Tabela 1- Área das fitofisionomias do bioma Amazônia.

Fitofisionomia	Área (km ²)	%
Savana estépica	7.641,79	0,18
Savana	105.981,29	2,46
Campinarana	113.987,04	2,65
Floresta estacional decidual	877,47	0,02
Floresta estacional semidecidual	30.853,99	0,72
Floresta ombrófila densa	1.766.774,57	41,04
Floresta ombrófila aberta	888.248,29	20,63

Fonte: Santos *et al.* (2007).

Como consequência da origem geológica, os solos da Amazônia em áreas de floresta de terra-firme possuem baixas concentrações de nutrientes. Em geral, os solos estão correlacionados com a proporção de areia e variando em um gradiente associado à geomorfologia. Podem ser divididos em platô, vertente, baixio e campinarana (Ribeiro *et al.*,

1999). Os platôs são, geralmente, argilosos e se encontram nas áreas mais altas. As vertentes representam um gradiente entre platô e baixio. Os baixios se encontram perto nas planícies aluviais ao longo dos igarapés, com solo muito arenoso (Ferraz *et al.*, 1998; Ribeiro *et al.*, 1999).

3.2. Ecossistema de campina

3.2.1. Nomenclatura

Uma das maiores dificuldades para quem inicia estudos sobre campinas e campinaranas é reconhecer na literatura científica quais são as correspondências equivalentes entre as diferentes nomenclaturas dadas a essa formação. Inicialmente essas vegetações foram classificadas como *caatinga-gapó* por Spruce em 1908 e em seguida como *caatinga amazônica* por Ducke e Black e Pires e Rodrigues em 1964. Andrade - Lima em 1959 as denominaram de *caimbé*, Aubréville em 1961 de *pseudo-caatinga* e Pires em 1973 as chamou de *charravascal* e *carrascal*. O termo *campina* foi utilizado primeiramente por Takeuchi (1961) e posteriormente por Rodrigues (1961), que sugeriu que a substituição dos termos *caatinga baixa* e *caatinga alta* para *campina* e *campinarana* respectivamente (Lisbôa, 1975; Anderson *et al.*, 1975; Ferreira, 2009).

Uma série de estudos sobre campinas e campinaranas foi publicada em 1975 sob a liderança de Sir Ghilleen T Prance, que ficou conhecido como o *pai das campinas*. Os estudos foram realizados na reserva da campina, a 62 quilômetros da cidade de Manaus. Uma dessas publicações é a de Lisbôa (1975), que fez uma ampla revisão sobre essas formações na tentativa de unificar as nomenclaturas. Lisbôa (1975) sugeriu que se adotasse o nome *campina* para a vegetação mais baixa e *campinaranas* para as mais altas. Outra publicação é a de

Anderson *et al.* (1975) que subdividiu o ecossistema de campina em três estratos: *campina aberta*, *campina sombreada* e *campinarana*.

No entanto, publicações seguintes optaram por outras denominações para a fitofisionomia. Eiten (1983) no livro *Classificação da vegetação do Brasil* classifica novamente essa vegetação como caatinga amazônica, segundo o autor, o termo campina pode ser confundido com as campinas do sul do Brasil. Veloso (1992) publicou o *Manual Técnico da Vegetação Brasileira* onde chamou campinas e campinaranas de ecossistema de campinarana, dividido em três subtipos: *campinarana florestada*, *arborizada* e *gramíneo-lenhosa* (Figura 1). Silveira (2003) (*apud* Ferreira, 2009), no sudoeste da Amazônia, região de Cruzeiro do Sul no estado do Acre, classificou as campinas em: *campina aberta arbustiva*, *campina dominada por *Mauritia flexuosa** (Burití) e *campina gramíneo-lenhosa*.

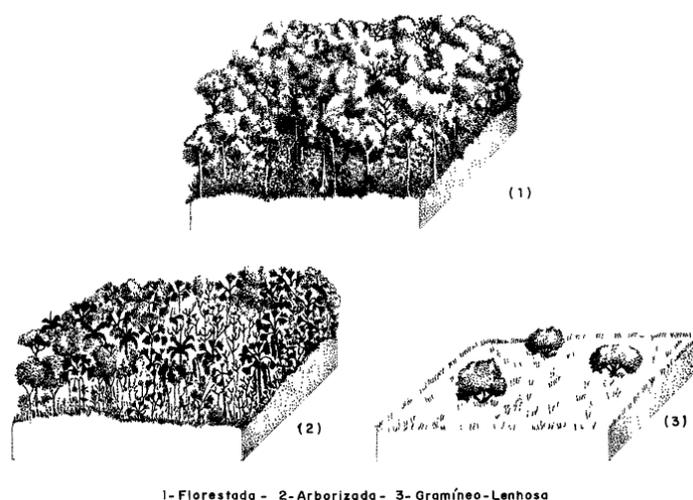


Figura 1- As três formações da campinarana pelo IBGE. Fonte: Veloso *et al.* (1991).

O estudo mais recente e completo sobre campinas é o de Ferreira (2009). Nesse trabalho o autor analisou os aspectos fitossociológicos, florísticos e edáficos de nove campinas situadas na região Central, Ocidental e Oriental da Amazônia brasileira. Ferreira propôs, assim como Prance (1975), que a fitofisionomia seja classificada como *ecossistema de*

campina, onde existe a vegetação menor, *campina stricto sensu*, e a mais alta, *campinarana*.

No presente estudo, optou-se por essa classificação.

3.2.2. Ocupação e origem

As campinas e campinaranas são vegetações próprias da Amazônia e ocorrem sobre solos arenosos. Existem diferentes teorias sobre a origem dessas áreas. A mais aceita é que elas se formaram sobre paleorios e paleopraias oriundos dos ciclos glaciais do quaternário e terciário (Prance, 1992). Outra teoria é que essas áreas são originárias da erosão de rochas arenosas do escudo guianense. Existe também a hipótese de que elas têm origem antrópica, isto porque foram encontrados carvões e artefatos indígenas nas primeiras camadas do solo em algumas campinas da Amazônia central (Prance e Schubart, 1978, Lisbôa, 1975).

As campinas e campinaranas ocorrem predominantemente nas bacias dos rios Negro, Branco e Orinoco (Veloso, 1992). Contudo, não são restritas à bacia destes rios. O mapa mais real da distribuição de campinas foi produzido por Whitmore e Prance (1987) e adaptado por Ferreira (2009). No mapa fica claro que as áreas com solo de areia branca e a vegetação a eles associados ocorrem também em outras áreas ao sul da bacia amazônica, nos estados de Rondônia e Mato Grosso (Figura 2).



Figura 2 - Mapa da distribuição geográfica de campinas e campinaranas da Amazônia brasileira. Fonte: Ferreira (2009)

Não existe um consenso sobre a área ocupada por esse ecossistema. Segundo Klinge *et al.* (1977) e Anderson (1981), campinas e campinaranas, ocupam 64.000 km² da Amazônia brasileira. Fearnside (1997) contabilizou 83.751 km². O estudo de Santos *et al.* (2007) indicou que a área ocupada por essa fitofisionomia é de 113.987,04 km², correspondendo a 2,65% do bioma (Tabela 1).

3.2.3. Campinas *versus* campinaranas

Muitas vezes, campinas e campinaranas são mencionadas como um único tipo florestal. Anderson *et al.* (1975) afirmaram que o ecossistema de campina é um contínuo sucessional, onde as campinaranas são o estágio clímax. No entanto, essas duas formações se diferenciam quanto à composição florística, estrutura, profundidade do lençol freático, solos e até mesmo quanto à origem. Podem ser consideradas vegetações distintas, porém muitas vezes ocorrem associadas. Um exemplo disso é a campinarana estudada neste trabalho, que ocorre

dissociada de uma campina *stricto sensu*. As campinaranas em geral têm mais afinidade florística com a floresta de terra firme do que com as campinas, representando, provavelmente, um estágio intermediário na sucessão secundária sob substratos de solos arenosos (Ferreira, 2009).

Assim como Silva *et al.* (2008) observaram que as florestas de galeria estão avançando sobre os cerrados no Brasil central, Ferreira (2009) observou que as campinaranas estão avançando sobre as campinas. Segundo o autor, isto reflete um processo sucessional de longo prazo entre campinas, campinaranas e floresta ombrófila densa.

3.2.4. Caracterização de campinas

Na nova classificação de Ferreira (2009), a campina *sensu strictu* é a formação vegetacional composta predominantemente por indivíduos com altura menor que sete metros, com a ocorrência de poucos indivíduos acima da referida altura, habitando isoladamente esta formação. Desenvolve-se sempre sobre solo podzol, na maioria das vezes expostos e sempre colonizado por herbáceas das famílias Cyperaceae, Poaceae e Eriocaulaceae. A constante ocorrência dos líquens *Cladonia* sp. e *Parmelia* sp., são também indicadores desta formação. Diferenciam-se entre si pela transição vegetacional: na Amazônia Central e Ocidental, a transição ocorre predominantemente com a campinarana. No sul da Amazônia e no Amapá e na região de Monte Alegre (PA) a transição das campinas pode ocorrer também com o cerrado.

Acredita-se que os principais fatores limitantes das campinas e campinaranas sejam a nutrição, acidez, temperatura e drenagem do solo (Prance, 1975; Luizão *et al.*, 2007), além da profundidade do lençol freático (Ferreira, 1997). Essa condição edáfica condiciona uma situação de baixa diversidade, tanto florística quanto faunística (Borges, 2004).

Na campina, a diversidade vegetal é baixa, no entanto, o número de espécies endêmicas é bastante alto (Anderson, 1981). Além disso, na Amazônia Central, a maioria das plantas vasculares de solos arenosos (54,5%) ocorre exclusivamente nesses *habitats* (Anderson, 1981). As plantas adaptadas às campinas possuem características próprias como esclerofilia, alelopatia e presença de fenóis e substâncias secundárias em sua composição. Esses elementos ajudam as plantas a se defenderem de ataques de predadores e podem também se configurar em rica fonte de compostos químicos para a indústria biomédica. Outra característica notável desse tipo de vegetação é a dominância por poucas espécies (Anderson *et al.*, 1975; Klinge e Medina, 1979).

Alguns pesquisadores acreditam que a baixa produtividade primária das campinas associada à alta drenagem do solo influenciam todos os ecossistemas associados aos rios de água negra. Um exemplo claro é o fato da abundância de peixes nesses rios serem bem menores que em rios de água branca, por isso são também conhecidos como “rios da fome” (Anderson *et al.* 1975; Lisbôa, 1975; Morán, 1990).

Felizmente, essas características oligotróficas a tornam menos passíveis de desmatamento, por serem impróprias para agricultura. Contudo, desde a década de 80, existe uma pressão antrópica sobre essas vegetações, incluindo a extração de areia para a construção civil e o fogo (Anderson, 1981; Borges, 2004).

3.2.5. Caracterização das campinaranas

As campinaranas também são conhecidas como *tall caatinga* ou *high caatinga* (Klinge e Medina, 1979; Medina *et al.*, 1990), “mata alta de campina” (Takeuchi, 1960) ou por “campinarana florestada” (Veloso, 1992). Em muitas áreas desse tipo vegetacional predominam gêneros como *Clusia*, *Aldina*, *Hevea*, *Enriquezia*, *Eperua*, *Caraipa*, entre outros (Veloso *et al.*, 1991; Veloso, 1992). Klinge e Herrera (1983) encontraram para essa formação

uma área basal de $29,4 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e raros indivíduos com altura superior a 20 metros. A vegetação é aparentemente contínua, porém ainda existem ilhas de árvores maiores, mascaradas por árvores intermediárias da vegetação mais jovem (Anderson *et al.*, 1975; Noronha, 2003).

A transição entre a campinarana e a floresta densa é brusca e o limite entre os dois tipos de vegetação é geralmente bem definido. Percebe-se essa diferenciação por três fatores: (1) vegetação do estrato inferior bastante distinta; (2) repentino aparecimento de palmeiras indica floresta densa de terra firme; (3) redução nítida da serapilheira do solo.

Assim como nas campinas, o solo predominante em campinaranas é o podzol hidromórfico. No entanto, na campinarana apresentam-se coberto por uma densa camada de serapilheira e um colchão de raízes muito desenvolvido, com horizonte orgânico muito mais profundo que na campina. A influência do lençol freático na dinâmica da campinarana é menor do que na campina (Ferreira, 1997; Ferreira, 2009).

Provavelmente as campinaranas sejam até menos conhecidas que as campinas *stricto sensu*. Além disso, como as campinaranas possuem estrutura similar à floresta densa e ocorrem em pequenas ilhas de vegetação, é possível que a área calculada de ocupação por campinaranas seja subestimada.

3.3. Biomassa e as mudanças climáticas

A história das estimativas de biomassa não trata apenas de números e métodos, mas também da história da percepção da natureza pelos cientistas, tendo grande paralelo com a história da ecologia em geral. Consiste em um parâmetro chave na caracterização de ecossistemas, pois reflete a capacidade da vegetação, em um dado período, em acumular matéria orgânica (Overman *et al.*, 1994; Somogyi *et al.*, 2006). Pode ser definida como a

quantidade de um material vegetal expressa em unidade de massa por unidade de área florestal (Araújo *et al.*, 1999).

A biomassa é uma informação imprescindível nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima (Higuchi *et al.*, 1998). É utilizada no cálculo de impactos florestais antrópicos e naturais e no entendimento de processos ecológicos, como a ciclagem e a dinâmica da floresta e de seus nutrientes. É obtida também para fins de produção de celulose e carvão (Scolforo, 1996; Campos e Leite, 2006).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) define que a fitomassa (biomassa vegetal) deve ser estimada separadamente, considerando os seguintes componentes: (1) viva acima do solo; (2) viva abaixo do solo (raízes maiores que 2 mm) e (3) necromassa (IPCC 2006). Nas últimas décadas, o estoque de carbono contido na fitomassa tem recebido atenção especial graças aos acordos internacionais Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima (UNFCCC) e o Protocolo de Quioto².

Sob esses acordos, os países devem reportar suas emissões de CO₂ (Somogyi *et al.*, 2006). O inventário brasileiro mostrou que as atividades relacionadas às mudanças de uso terra, tais como agricultura e pecuária principalmente na Amazônia, representando cerca de 80% do total das emissões, são as que mais contribuem com as emissões de dióxido de

² As tratativas internacionais em torno das mudanças climáticas iniciaram no fim da década de 80, quando as Nações Unidas apoiaram a criação de um Painel Intergovernamental de pesquisadores (IPCC) para entender a problemática. Como as conclusões dos estudos do IPCC foram alarmantes, os países decidiram tomar medidas para mitigar o efeito no clima. Os dois principais tratados internacionais que disciplinam as iniciativas para conter o fenômeno são: a Convenção Quadro sobre as Mudanças do Clima, assinada em 1992 e o Protocolo de Kyoto em 1997.

carbono (Teixeira *et al.*, 2006). Em escala global, o desflorestamento é a segunda maior fonte de gases de efeito estufa (GEEs), representando de 20% a 25% das emissões (Moutinho e Schwartzman, 2005). Por esse motivo, após 2012, o pagamento pela manutenção das florestas em pé entrará como um dos mecanismos de redução das emissões do Protocolo de Kyoto.

Esse mecanismo é atualmente conhecido por REDD, que significa a redução das emissões por desmatamento e degradação florestal em países em desenvolvimento. Esta proposta foi originalmente feita em 2005 pela Coalizão das Nações de Florestas Tropicais. A Coalizão sugeriu na COP11, no Canadá, a compensação a países que reduzam seus níveis de desmatamentos.

O maior desafio do REDD é a questão metodológica. Não há como estimar os estoques se não houver alometria local e um sistema de inventário florestal contínuo. Para o estado do Amazonas já existe uma rede de parcelas permanentes instaladas pelo Laboratório de Manejo Florestal do INPA e equações desenvolvidas para a região central e oriental do Estado. Além disso, a equação de Silva (2007) e Araújo *et al.*, (1999) são corrigidas utilizando-se um fator de correção que utiliza a altura dominante (média das alturas de 20% das árvores mais grossas) para as áreas de inventário florestal em que não haja alometria local.

Para Gibbs *et al.*, (2007) a aceitação e implementação do REDD requiere resoluções de desafios científicos, como por exemplo, fazer estimativas de emissão de carbono por desmatamento em escala nacional. Existem diversas estimativas de biomassa e carbono que divergem em valores e em metodologias. Houghton *et al.* (2000) concluíram que 60% das incertezas relacionadas às estimativas do fluxo de carbono na floresta amazônica resultam dessas divergências. Essas são provenientes, principalmente, dos diferentes métodos utilizados na sua obtenção. Os métodos utilizados no cálculo de biomassa são o direto e o indireto, discutidos a seguir.

3.3.1. Método direto

O método direto constitui na derrubada e pesagem de todas as árvores e outros componentes florestais, tais como cipós, palmeiras e mudas que ocorram em parcelas fixas (Higuchi *et al.*, 1994; Parresol, 1999). Para Brown *et al.* (1989), o método direto não é confiável porque se baseia em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas. Higuchi e Carvalho Jr. (1994) afirmaram que em geral as áreas escolhidas deveriam ser homogêneas, porém, comumente ocorrem árvores muito grandes, resultando em dados superestimados. Gibbs *et al.* (2007) discutem que o método é bastante acurado para estimar a biomassa local específica, no entanto, afirma ser caro, demorado e impraticável para análises de escalas maiores.

O consenso existente entre os pesquisadores que trabalham com biomassa é de que é praticamente impossível determinar a biomassa de cada árvore pelo método direto ao executar um inventário florestal. Por essa razão, os recursos de análise de regressão para o desenvolvimento de modelos estatísticos, para estimar a biomassa de árvores em pé, devem ser empregados para superar este problema (Higuchi *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2001; Silva, 2007).

3.3.2. Métodos indiretos

Em geral, existem três maneiras de se estimar a biomassa indiretamente. Para melhor entendimento elas serão denominadas neste trabalho como “método volumétrico”, “alométrico empírico” e “alométrico analítico”. No primeiro são utilizados o volume e a densidade da madeira das árvores e nos outros dois utilizam-se relações alométricas.

Este método gerou muita polêmica entre os pesquisadores, um dos argumentos contrários foi que geralmente os dados de volume utilizados foram obtidos dos inventários do

projeto RADAM. Estes inventários foram realizados nas décadas de 60 e 70 com a finalidade de planejar a exploração e o manejo florestal e, portanto, o volume obtido é referente somente à altura comercial.

Outra ressalva é quanto ao uso da densidade da madeira das espécies. Higuchi *et al.* (2004) afirmam que a densidade da madeira pode variar entre espécies, dentro da mesma espécie, nos diferentes compartimentos de um mesmo indivíduo arbóreo e ainda há variações também dentro dos compartimentos no sentido medula-casaca. O uso do fator de forma para árvores de florestas tropicais também é bastante desaconselhável, pois geralmente é obtido considerando poucas espécies (Somogyi *et al.*, 2006) e também existem variações interespecíficas e entre sítios. Este método pode ser bastante impreciso, haja vista que existe uma grande variação entre as estimativas desenvolvidas mesmo quando se utilizou o mesmo conjunto de dados (Brown e Lugo, 1992; Fearnside, 1992; Higuchi e Carvalho Jr, 1994).

Nos métodos “alométrico empírico” e “alométrico analítico” o cálculo da biomassa é feito a partir das relações alométricas das árvores. A palavra alometria vem do grego, *allos* (outro) e *metron* (medida). Essa palavra é utilizada em três sentidos diferentes: (1) o crescimento de parte de um organismo em relação ao crescimento de todo o organismo ou outra parte dele. Este é o sentido utilizado no método empírico; (2) o estudo das consequências de tamanho na forma e no processo orgânico; (3) similaridade geométrica, ou seja, manutenção da geometria e forma ao longo de uma série e de objetos que diferem em tamanho. Os sentidos 2 e 3 são os tomados pela “alometria analítica” (Niklas, 1994).

Desta forma, pelo método empírico, o cálculo da biomassa é feito aplicando-se uma equação alométrica adequada que estime a biomassa das árvores em função do diâmetro à altura do peito (DAP) ou juntamente com outras variáveis obtidas em inventários florestais de acordo com as equações 1 e 2 que estão a seguir. Os coeficientes da equação 1 ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$) são

obtidos pelo método dos mínimos quadrados (regressão) de dados coletados com a derrubada e pesagem de árvores que representem o sítio e a distribuição diamétrica da área de estudo.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n; \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$$

(1)

$$Y = \beta_1 DAP^{\beta_2}$$

(2)

Onde Y é a biomassa; X_1, X_2, \dots, X_n são dados das árvores (altura, DAP, etc);

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são os coeficientes da equação.

Niklas (1994) afirmou que o método de uma maneira ou de outra é meramente uma análise de regressão. Zianis e Mecunccini (2004) discutiram que o método empírico além de trabalhoso, é demorado e ineficiente para estimativas em escala nacional. No entanto, para analisar a eficiência do método deve-se considerar o objetivo do estudo. O método empírico foi utilizado em estimativas regionais na Amazônia e mostrou-se altamente preciso e confiável na determinação de biomassa e carbono (Silva, 2007), além disso, foi validado por Araújo *et al.* (1999) em Tomé-Açu no Pará.

O método analítico surgiu de estudos alométricos de animais, plantas, hidrologia etc. (McMahon, 1973). Sabe-se que o tamanho influencia aproximadamente todas as características estruturais, funcionais e ecológicas dos indivíduos (Niklas e Enquist, 2001). Existem várias proporções de escala que se assemelham na natureza, por exemplo, a produção metabólica de animais e plantas é proporcional à massa corporal (M) elevado a potência $3/4$ (M^{3/4}) (West *et al.*, 1999).

Enquist *et al.* (2002) afirmaram que as leis de escalas e proporções são praticamente universais na biologia. Provavelmente, isso ocorra pela semelhança geométrica e por princípios de hidrodinâmica que governam o transporte de materiais essenciais para o metabolismo celular. Sabe-se também que essas relações estão também ligadas à ontogenia (Niklas, 1994), no entanto, ainda não se sabe exatamente como elas ocorrem (Enquist *et al.*, 2002).

Com essa concepção e partindo da teoria geral de distribuição de recursos por um sistema de galhos, distribuídos hierarquicamente em plantas vasculares, West *et al.* (1999) desenvolveram modelos integrados da hidrodinâmica, biomecânica e de geometria de plantas vasculares. Eles chegaram a conclusão que o DAP é proporcional à $M^{3/8}$. Essa relação pode ser utilizada como uma alternativa ao método destrutivo (empírico) na estimativa da fitomassa.

O modelo de West *et al.* (1999) foi testado por Zianis e Mecunccini (2004) para estimar a biomassa de árvores de diferentes ecossistemas. Eles concluíram que o método empírico teve um erro bem menor da estimativa de biomassa que o método analítico, no entanto, que o resultado poderia ser melhor com o uso de mais amostras. Chambers *et al.* (2004) também testaram um modelo analítico, porém a biomassa estimada das árvores maiores diferiu muito da biomassa coletada pelo método empírico na Amazônia central.

Entre os modelos alométricos mais utilizados na Amazônia central para estimar a biomassa aérea estão os de Santos (1996), Higuchi *et al.* (1998) e Chambers *et al.* (2001). Para a Amazônia oriental o mais indicado é o de Araújo *et al.* (1999). Chave *et al.* (2005) desenvolveram um modelo pan tropical a partir de dados de várias florestas tropicais do mundo; no entanto, para este modelo é necessário o uso da densidade da madeira, assim como o modelo de Brown (1989).

Para florestas secundárias existem os modelos desenvolvidos por Uhl *et al.* (1988), Nelson *et al.* (1999) e Silva (2007). Este último autor também desenvolveu modelos para a biomassa total, ou seja, incluindo também as raízes para florestas primárias e capoeiras da Amazônia central. Barbosa e Ferreira (2004b) desenvolveram modelos alométricos para estimar a biomassa aérea de campinas.

3.4. Biomassa de campinas e campinaranas

Na Amazônia Brasileira, existem poucos estudos de biomassa realizados nas diferentes tipologias vegetais (Barbosa e Ferreira, 2004a). A maior parte dos estudos de campinas e campinaranas foram feitos na Venezuela utilizando pequenas áreas (Klinge e Herrera, 1983). Bongers *et al.* (1985) (*apud* Barbosa e Ferreira, 2004b) usaram o método destrutivo em 0,015 hectares de campina na Venezuela. O resultado encontrado para a biomassa seca total (incluindo cipós, árvores, mudas e palmeiras) acima do solo foi 3,68 t.ha⁻¹ para a *campina aberta* e 178,64 t.ha⁻¹ para a *campina sombreada*.

Klinge e Herrera (1983), usando o mesmo método, pesaram a biomassa total (árvores, cipós, palmeiras e mudas) de campinaranas (*Tall Amazon Caatinga*) em 0,13 hectares na Venezuela. Os resultados foram 237 t.ha⁻¹ de biomassa seca acima do solo e 119 t.ha⁻¹ de raízes. Segundo o mesmo estudo, na medida em que se caminha da campinarana para a campina, a biomassa de raízes aumenta e a biomassa acima do solo das árvores diminui.

A partir de dados volumétricos do RADAMBRASIL e dados de densidade média, Fearnside (1997) encontrou valores bastante discrepantes de todos os outros estudos. A biomassa fresca total de campina estimada pelo pesquisador foi de 437 t.ha⁻¹ e de campinarana foi de 465 t.ha⁻¹. O estudo mais recente de biomassa em campinas é de Barbosa e Ferreira (2004b), feito em Roraima. A estimativa da biomassa aérea foi calculada utilizando equação alométrica desenvolvida localmente com a pesagem da parte aérea de 98 árvores. O

erro padrão da estimativa (S_{xy}) da equação ficou em 30%. O valor das estimativas foram de 15,91 t.ha⁻¹ (biomassa fresca). Nenhum dos trabalhos citados possui as incertezas associadas à média, portanto fica impossível compará-los.

3.5. Carbono e relação C/N

O carbono é um componente essencial na constituição de todos os organismos. As plantas, assim como os animais, contêm grande quantidade de carbono na forma de compostos orgânicos (açúcares, gorduras e proteínas). O carbono contido na biomassa vegetal é adquirido pelas plantas por meio da fotossíntese. Parte do dióxido de carbono fixado pelas plantas é reemitida para atmosfera por meio da respiração e o restante é armazenado na forma de biomassa, o que é chamado de produção primária líquida (PPL).

A vegetação das florestas tropicais, ao contrário das demais, tem maior quantidade de carbono que o solo que as sustentam (Houghton, 1990). Além disso, quando as florestas tropicais são derrubadas, a quantidade de carbono na vegetação e no solo reduz-se excessivamente. O carbono contido nas árvores e parte do existente no solo é liberado para atmosfera em forma de CO₂ e uma pequena parte é distribuída no solo ou levada pelos rios.

O carbono da fitomassa também é uma das variáveis mais importantes no controle da decomposição da matéria orgânica. A razão entre o carbono e o nitrogênio, conhecida como relação C/N, traz informações importantes para o entendimento da ciclagem da matéria orgânica. Quanto maior esta relação, mais carbono em relação a nitrogênio, mais difícil de se decompor o material, maior a imobilização de nitrogênio pelas células microbianas, o que poderia afetar negativamente a nutrição vegetal (Janzen, 1996).

A dinâmica do carbono e do nitrogênio é regulada primeiramente pela biota, especialmente, pela fotossíntese. Esta é uma das maiores ligações entre atmosfera e os

ecossistemas terrestres. Para melhor entender esses ciclos e como eles afetam o funcionamento de ecossistemas é essencial saber como as plantas interferem nesses ciclos (Colleta *et al.*, 2009).

Além disso, a ciclagem do carbono e do nitrogênio são processos ecológicos fundamentais e tem ganhado importância devido ao interesse na dinâmica dos estoques desses elementos, seus impactos nos ecossistemas, e a contribuição dos fluxos de gases, como o CO, CO₂, NO e NO₂ para o aquecimento global (Parron *et al.*, 2004). É importante conhecer a distribuição desses elementos nos diferentes compartimentos das árvores, para saber o quanto é exportado durante os desmatamentos, queimadas e explorações florestais e o quanto é devolvido via *inputs* atmosféricos.

3.6. Nitrogênio

O nitrogênio é o elemento químico mais abundante na atmosfera terrestre, contribuindo com aproximadamente 78% de sua composição. Constitui um elemento essencial à vida, sendo necessário, por exemplo, na constituição das proteínas e do DNA que contém as informações genéticas, atividades enzimáticas e na produtividade primária das plantas. Além disso, a disponibilidade de N controla o crescimento vegetal, a composição de espécies e assim, a estrutura trófica em ambientes naturais e manejados. O nitrogênio influencia ainda a reatividade química da baixa e alta atmosfera, a acidez do solo e da água, o nível de radiação UV na atmosfera e o clima mundial (Nardoto, 2005).

A atmosfera é o principal reservatório de nitrogênio, sob forma de N₂. Devido à força de uma tripla ligação que mantêm os dois átomos de nitrogênio unidos, este elemento é indisponível diretamente para plantas e animais. Essa ligação é rompida apenas por altas temperaturas ou por uma pequena quantidade de microorganismos que fazem a fixação biológica de nitrogênio (FBN). O ciclo do nitrogênio consiste justamente no conjunto de

processos nos quais o nitrogênio atmosférico é convertido a compostos fundamentais para a sustentação da vida e sua posteriormente devolução à atmosfera, após processos químicos e biológicos (Madergan, 2007).

A FBN é feita por uma pequena quantidade de espécies de procariotos que possuem a enzima nitrogenase, que reduz N₂ em N biologicamente disponível. As bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e os actinomicetos *Frankia* vivem simbioticamente em nódulos ou raízes de plantas leguminosas e disponibilizam o N para estas plantas. Esta é a fonte mais importante de nitrogênio para os organismos vivos (Nardoto, 2005).

Outro processo em que o nitrogênio gasoso fica disponível às plantas é por meio da sua conversão em ácido nítrico e amônia a partir da reação provocada por descargas de relâmpagos. Este processo é chamado de fixação atmosférica de nitrogênio. A amônia é introduzida nos ecossistemas pela água da chuva (Galloway *et al.*, 2004). De acordo com Herrera *et al.* (1978), esse nutriente está em grande quantidade em folhas, galhos e cascas, pois essas partes são os principais caminhos pelo escoamento da água da chuva até o solo.

Martinelli *et al.* (1999) verificaram a partir de isótopos de nitrogênio que muitas áreas de florestas tropicais possuem mais nitrogênio disponível que florestas temperadas. No entanto, florestas de altitude e florestas sobre solos arenosos como as campinas e campinaranas, possuem menos assinaturas do isótopo ¹⁵N comparado a outros ecossistemas de florestas tropicais. Isto significa uma menor quantidade de nitrogênio disponível nesses ecossistemas.

As formações vegetais sobre areia branca são consideradas pobres em nitrogênio, no entanto, não é a falta de estoque no solo que é significativa, mas sim sua baixa disponibilidade, em razão de uma ciclagem muito lenta. Nestes ecossistemas, a decomposição da serapilheira é um processo chave na ciclagem de N, sendo sua transformação determinada por suas propriedades físico-químicas e pela dominância ectotrófica (Madergan, 2007). Por esse

motivo uma das principais características das campinaranas é o grande acúmulo de serapilheira no solo.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Local de estudo

A coleta dos dados foi realizada em uma campinarana dentro da área experimental de manejo florestal da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA (EEST - INPA), localizada entre os km 21 e 24 da margem esquerda da estrada vicinal ZF-2, 90 km ao norte de Manaus – AM. A Estação possui ao todo 21 mil ha, com as coordenadas geográficas da EEST entre 02°37' e 02°38' de latitude sul e 60° 09' e 60° 11' de longitude oeste (Teixeira *et al.*, 2007; Pinto, 2008).

O clima da EEST é do tipo “Amw”, na classificação de Köppen, quente e úmido, caracterizado como clima tropical chuvoso. A temperatura média anual é de 26,7°C, apresentando valores médios para as máximas e mínimas de 31,2 °C e 23,5 °C (Pinto *et al.*, 2003). A precipitação média anual entre 1980 e 2000 foi de 2610 mm . ano⁻¹. No ano 2000 a precipitação média registrada foi de 3450 mm. Existe um período de estiagem nos meses de julho, agosto e setembro com cerca de 100 mm de precipitação (Silva *et al.*, 2002; Chambers *et al.*, 2004).

Segundo Ferraz *et al.* (1998) e Magalhães *et al.* (1998), os solos da EEST variam principalmente quanto à topografia. Nos platôs o solo é argiloso (latossolo amarelo), nas encostas varia de argilo-arenoso (próximo aos platôs) para areno-argiloso (próximo aos baixios) e nos baixios o solo é arenoso. O solo das campinaranas próximas a Manaus são

classificados como neossolos (antigo regossolo) ou horizonte B espódico (Prance, 1975; Magalhaes *et al.*, 1998; Embrapa, 1999).

No caso da campinarana da EEST, o solo é classificado como argisolo vermelho-amarelo e acima do solo mineral ocorre uma densa camada de raízes finas (Nardoto, 2005) (Figura 3).



Figura 3-Perfil de solo da campinarana ZF-2. Fonte: LMF/INPA

A análise físico-química do solo foi realizada em 2005, para tanto, foram abertas trincheiras nas quais foram retiradas amostras nos intervalos de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 e 40 a 50 cm de profundidade. As análises foram realizadas pelo Departamento de Solos e Nutrição de plantas da ESALQ/USP, de acordo com os procedimentos da Embrapa (1999) (Nardoto, 2005). A tabela 2 apresenta as características químicas do solo da floresta densa (baixio e platô) e campinarana da ZF-2, entre 0 e 5 cm de profundidade.

Tabela 2- Caracterização do solo de platô, baixio e campinarana da ZF-20 e 5 cm de profundidade.

Área de estudo – ZF-2	Argila (%)	PH	C _{org} (g*kg ⁻¹)	N _{total} (g*kg ⁻¹)	C/N	P _{total} mg*dg ⁻³	P disp. (mg*kg-1)	Ca+2 (mmol*dm ³)	SB (mmol*dm ³)	T	V %
Floresta densa – Platô	75	3,7	30	2,1	13,9	-	2,7	1	2	110	4
Floresta densa- Baixio	10	3,7	33	1,8	19,2	-	8,8	0	2	115	9
Campinarana	15	3,6	18	1,2	16,1	5	-	1	1	61,1	5

Onde: C_{org}= carbono orgânico; N_{total}=nitrogênio total; C/N =relação carbono:nitrogênio; P_{total} = fósforo total; P_{disp.} =fósforo disponível; SB=soma de bases trocáveis (Ca²⁺ + MG²⁺ + K⁺ + Na⁺); T = SB + acidez potencial; V= porcentagem de saturação em bases no complexo sortivo. Fonte: Nardoto (2005) adaptado.

Prance e Schubart (1978) encontraram uma quantidade razoável de carvão a 15 cm abaixo do solo em uma campinarana a 65 km de Manaus. Para a campinarana deste estudo foi encontrada a mesma característica, porém o carvão estava em uma profundidade maior, de até 30 cm da superfície do solo (Figura 4).



Figura 4 - Carvões encontrados no solo da campinarana ZF-2. Fonte: LMF/INPA

A área da campinarana da EEST possui aproximadamente 20 ha. A área chegou a compor o projeto BIONTE durante seu início. Esse projeto ainda está em vigor e tem como objetivo principal estudar a dinâmica da floresta após a exploração florestal. No entanto, as parcelas do BIONTE instaladas na campinarana foram descartadas após o inventário, pois os

pesquisadores perceberam que se tratava de uma fitofisionomia diferente, tanto pela menor área basal, quanto pela diferente composição edáfica e florística.

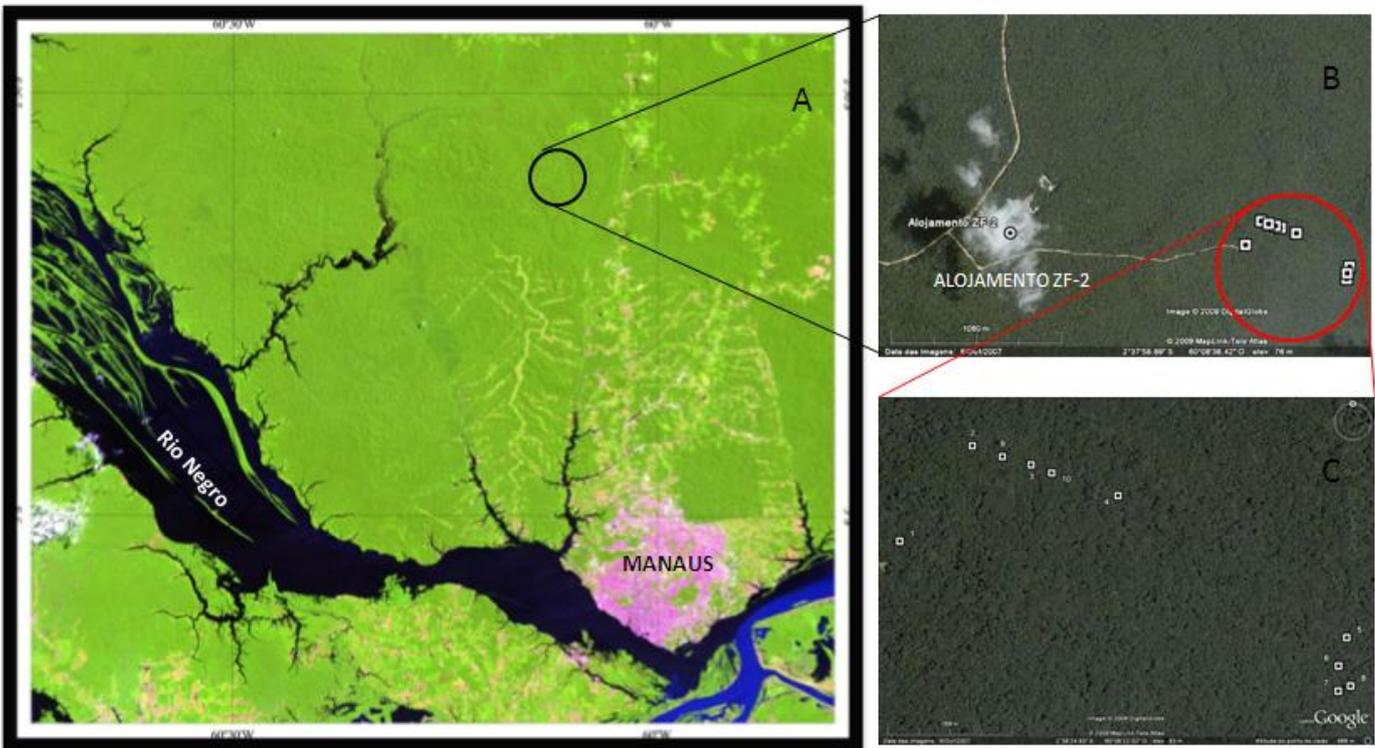


Figura 5- A) Imagem Landsat de 2008 mostrando a localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical (EEST) ao norte de Manaus-AM; B) Imagem Google Earth do alojamento da EEST e área de campinarana deste estudo; C) Imagem Google Earth ampliada mostrando a localização das dez parcelas utilizadas neste estudo.

4.2. Biomassa

4.2.1. Coleta de dados de biomassa

Os pesos de massa fresca utilizados neste estudo para o desenvolvimento de equações alométricas para a estimativa da biomassa foram coletados pelo método destrutivo de 10 parcelas de 100 metros quadrados (10 x 10 metros, Figura 5). As parcelas foram alocadas aleatoriamente ao longo da antiga parcela permanente do BIONTE, que foi preservada caso haja o interesse em recuperá-la para futuros estudos e monitoramentos.

O primeiro passo dentro das cinco primeiras parcelas sorteadas foi cortar e pesar cipós, mudas (indivíduos com DAP < 5 cm), palmeiras e coletar a serapilheira, deixando em pé somente as árvores com DAP \geq 5 cm (Figuras 6 e 7). Depois de realizado o inventário, árvores foram derrubadas e tiveram o DAP, as alturas comercial e total mensuradas e ao fim foram pesadas (Figuras 8 e 9). Além disso, o material botânico foi coletado, prensado e posteriormente identificado.

A pesagem das árvores foi feita por compartimentos. Da parte acima do solo, separou-se troncos, galhos grossos (Diâmetro \geq 10 cm), galhos finos (Diâmetro < 10 cm) e folhas (Figura 11). Abaixo do solo, as raízes grossas foram separadas em duas classes: 2 mm < diâmetro < 5 cm e mais grossas (diâmetro \geq 5 cm) (Figuras 12 e 13). As raízes finas, menores que dois milímetros, não foram coletadas, pois sua identificação e separação no campo é complexa. O IPCC (2006) afirma que raízes finas (menores que 2 mm) são de difícil separação empírica.

Nas outras cinco parcelas foram cortadas e pesadas apenas mudas, palmeiras e algumas árvores sorteadas. Além das 89 árvores coletadas nas 10 parcelas, pesaram-se mais 11 árvores sorteadas aleatoriamente na área. Com isso, obteve-se ao final a biomassa completa (aérea e raízes) de 100 árvores.



Figura 6 - Pesagem de palmeiras



Figura 7 - Parcela somente com árvores



Figura 8 -Derrubada de árvore com motosserra



Figura 9 - Medição da altura comercial e total



Figura 10 -Pesagem dos troncos



Figura 11 - Separação de folhas



Figura 12- Retirada de raiz



Figura 13 - O solo arenoso permitiu a retirada de raízes com o método de “alavanca”

As 10 parcelas de 100 m² foram subdivididas em cem parcelas menores de 1 x 1 metro. Destas foram sorteadas cinco para coleta e pesagem da serapilheira. Os pesos médios das sub-parcelas foram extrapoladas para as parcelas maiores de 100 m² e depois para ha (Figura 14).



Figura 14 - Esquema da parcela de 100 m² dividida em 100 parcelas de 1 m² e fotos da coleta da serapilheira.

4.2.2. Análise estatística de biomassa

O intervalo de confiança (IC 95%) e a incerteza das médias dos pesos obtidos pela pesagem direta das árvores, cipós, mudas, palmeiras e da serapilheira foram calculados. O significado do intervalo de confiança é que se um experimento for repetido muitas vezes, com o mesmo tamanho amostral, e o intervalo de confiança for calculado para cada um deles, aproximadamente 95% dos intervalos calculados irão incluir a média real (Magnusson e Mourão, 2005).

A incerteza é a medida de dispersão utilizada atualmente no jargão das mudanças climáticas e adotada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas para comunicação de seus resultados (IPCC, 2006). Para Higuchi *et al.* (2009), tão importante como informar a média dos dados é informar a incerteza associada à ela. A incerteza é calculada dividindo-se a amplitude do intervalo de confiança (valor de Z ou T vezes o valor do erro padrão da média) pela média da variável de interesse (Silva, 2007). Em analogia ao que se permite em trabalhos de inventários florestais, considerou-se admissível a incerteza menor que 10%. Para comparar os resultados deste estudo aos valores obtidos por Silva (2007) para floresta ombrófila densa foi feita a análise de variância.

O pacote estatístico Systat 12 foi utilizado para desenvolver as equações alométricas de biomassa de campinaranas. Para obtenção dos coeficientes β_0 , β_1 e β_2 dos modelos alométricos selecionados (Tabela 3), foram feitas regressões utilizando os dados dos pesos de massa fresca individuais das árvores como variáveis dependentes e os valores dos DAPs, alturas totais e comerciais como variáveis independentes.

Tabela 3- Modelos alométricos de biomassa testados.

EQUAÇÕES LOGARÍTIMICAS
Modelo 1. $\ln Pi = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \ln \varepsilon_i$
Modelo 2. $\ln Pi = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 \ln HT + \ln \varepsilon_i$
Modelo 3. $\ln Pi = \beta_0 + \beta_1 \ln D + \beta_2 \ln HC + \ln \varepsilon_i$
Modelo 4. $\ln Pi = \beta_0 + \beta_1 \ln D^2 HT + \ln \varepsilon_i$
EQUAÇÕES EXPONENCIAIS
Modelo 5. $Pi = \beta_0 D^{\beta_1} + \varepsilon_i$
Modelo 6. $Pi = \beta_0 D^{\beta_1} HT^{\beta_2} + \varepsilon_i$
Modelo 7. $Pi = \beta_0 D^{\beta_1} HC^{\beta_2} + \varepsilon_i$

Onde: Pi= peso de massa fresca da árvore ou parte dela; D= DAP de cada árvore; HT= altura total; HC= altura comercial; β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão; ε_i = Erro aleatório; Ln= logaritmo natural.

Os modelos alométricos testados são oriundos de equações de volume testados para biomassa por Santos (1996). Os modelos testados são os mesmos utilizados por Silva (2007) e geraram bons resultados para biomassa de floresta ombrófila densa da Amazônia central. Para verificar a significância dos modelos foi feito a análise de variância da regressão. As equações geradas pela regressão foram avaliadas utilizando-se os seguintes parâmetros estatísticos:

- Coeficiente de Determinação (R^2): significa quanto que a variação dos dados é explicada pelo modelo, variando de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 melhor é a absorção da variação dos dados;
- Desvio padrão da média em porcentagem ($S_{xy\%}$): indica a precisão do modelo. Quanto mais próximo de zero, mais precisa é a equação.
- Distribuição dos resíduos: indica a consistência do modelo ao longo da variável independente.

Os erros padrões das estimativas de equações logarítmicas foram recalculados para serem comparados aos erros das equações exponenciais. Esse parâmetro também foi utilizado para indicar a suficiência amostral. As árvores foram coletadas até que as regressões de biomassa apresentaram o $S_{xy\%}$ abaixo de 10%, que é o limite utilizado em trabalhos florestais. Além disso, foi verificado se os diâmetros seguiam a distribuição de diâmetro decrescente utilizando o *Weibull*. A função densidade de probabilidade de *Weibull* é a mais utilizada por ser flexível, permitindo moldar diferentes tendências de distribuição, desde uma exponencial até uma normal (Campos e Leite, 2006) e teve bons resultados na Amazônia (Higuchi, 2007).

4.3. Teores de água, carbono e nitrogênio

Os teores de água e carbono foram obtidos a partir de amostras retiradas de partes das árvores. Retirou-se três discos do tronco a 0%, 50% e 100% da altura comercial, três discos de um galho grosso ($\varnothing \geq 10$ cm) a 0%, 50% e 100% do comprimento total e mais três discos de raiz mais grossa ($\varnothing \geq 5$ cm), também a 0%, 50% e 100% do comprimento total. Para amostras de galhos finos, folhas e raízes com $5 > \varnothing > 2$ mm foram retirados aproximadamente um quilo do material “a granel” (Figura 15).

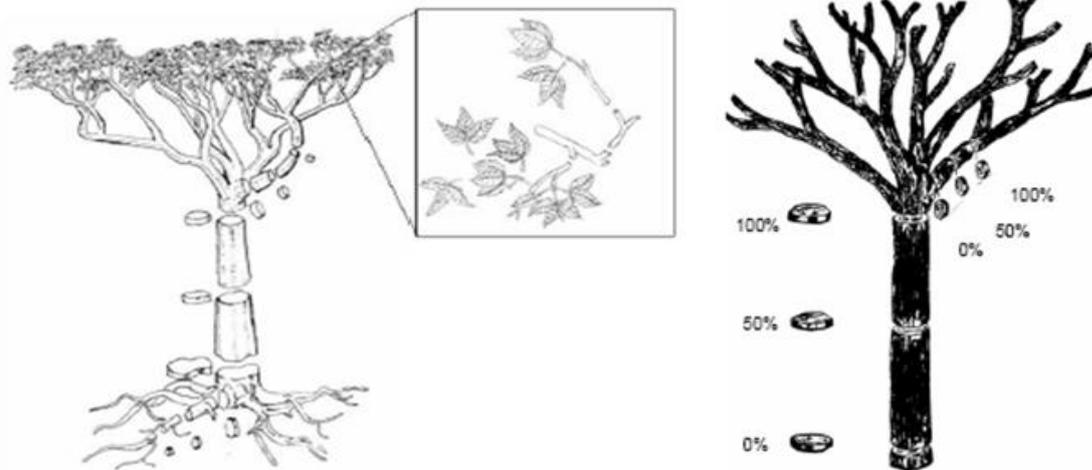


Figura 15- Amostras das partes das árvores para análise de água, carbono e nitrogênio.
Fonte: Silva (2007).

4.3.1. Teor de água

As amostras foram pesadas em balança eletrônica, de precisão de 0,5 gramas, logo depois de retirada das árvores. Para obter o teor de água, as peças foram levadas à estufa, com ventilação forçada, a 65°C e retiradas somente após apresentarem peso constante em três pesagens consecutivas. O teor de água foi obtido dividindo-se o peso de massa seca pelo peso de massa fresca:

$$T_{H_2O} \% = \left(\frac{PS}{PF} \right) * 100$$

Onde: PS= peso massa seca; PF= Peso massa fresca; $T_{H_2O} \% =$ Teor de água %.

Para verificar se havia diferença significativa entre os teores nos diferentes compartimentos das árvores e nas diferentes alturas dos troncos, galhos grossos e raízes mais grossas foi realizado a análise de variância (ANOVA).

4.3.2. Teor de carbono e nitrogênio

Depois de secas em estufa a 65 °C, as amostras foram moídas para fazer as análises de carbono e nitrogênio. A análise foi realizada no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA, utilizando-se C e N Combustão a seco seguida de cromatografia gasosa – FISOONS Instruments – VarioMAX CN (Anderson e Ingram, 1993). Foram testadas 276 amostras, das quais 50 eram de folhas, de galhos finos, de tronco, de raízes com $2 \text{ mm} < \emptyset < 5 \text{ cm}$, de raízes com $\emptyset \geq 5$ e 16 de galhos grossos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Descrição botânica das árvores coletadas

A tabela 4 traz a classificação botânica das 100 árvores abatidas em campo. Seis indivíduos foram identificados somente até o nível de família, 21 no nível de gênero e os demais tiveram identificação no nível específico. Foram contabilizadas trinta famílias botânicas ao total.

A família Burseraceae teve maior abundância, com 22 indivíduos. Consecutivamente, seguiram as famílias Sapotaceae, Lecythidaceae e Chrysobalanaceae, com 15, 10 e 10 indivíduos, respectivamente. A figura 16 mostra a abundância de cada família. O gênero mais abundante foi *Protium* com 21 indivíduos. Mesmo a amostragem sendo pequena, foi possível identificar que a campinarana possui uma alta diversidade, pois 63% dos indivíduos abatidos pertenceram à diferentes espécies.

Tabela 4- Nome comum, nome científico e família das árvores

<i>N</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Nome científico</i>	<i>Família</i>
1	Breu vermelho	<i>Protium ferrugineum</i> (Engl.) Engl.	Burseraceae
2	Uxi preto	<i>Vantanea guianensis</i> Aubl.	Humiriaceae
3	Matamatá amarelo	<i>Eschweilera bracteosa</i> (Poepp. ex Berg) Miers.	Lecythidaceae
4	Matamatá amarelo	<i>Eschweilera sp.</i> Mart. ex DC.	Lecythidaceae
5	Castanha jacaré	<i>Corythophora rimosa</i> W. Rodr	Lecythidaceae
6	Capitiu folha grande	<i>Siparuna sarmentosa</i> Perkins.	Siparunaceae
7	Freijó branco	<i>Cordia nodosa</i> Lamark.	Boraginaceae
8	Abiurana abiu	<i>Pouteria sp.</i> Aubl.	Sapotaceae
9	Matamatá amarelo	<i>Eschweilera sp.</i> Mart. ex DC.	Lecythidaceae
10	Caraipé	<i>Licania cf. lata</i> Macbr.	Chrysobalanaceae
11	Cacaui	<i>Theobroma sylvestre</i> Aubl. ex Mart.	Sterculiaceae
12	Matamatá amarelo	<i>Eschweilera truncata</i> A.C.Sm	Lecythidaceae
13	Breu vermelho	<i>Protium cf. hebetatum</i> D.C. Daly	Burseraceae
14	-	<i>Ladenbergia amazonensis</i> Ducke.	Rubiaceae
15	Matamatá amarelo	<i>Eschweilera sp.</i> Mart. ex DC.	Lecythidaceae
16	Abiurana abiu	<i>Pouteria cf. peruviana</i> (Aubrév.) Bernardi	Sapotaceae
17	Abiurana roxa	-	Sapotaceae
18	Ucuquirana	<i>Chrysophyllum sanguinolentum subsp. spurium</i> (Ducke) T.D. Penn	Sapotaceae
19	Breu manga	<i>Trattinnickia glaziovii</i> Swartz.	Burseraceae
20	Abiurana casca fina	-	Sapotaceae
21	Ucuquirana	<i>Chrysophyllum sanguinolentum subsp. spurium</i> (Ducke) T.D. Penn.	Sapotaceae
22	Breu vermelho	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
23	Macucu	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Chrysobalanaceae

<i>N</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Nome científico</i>	<i>Família</i>
24	Breu	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
25	Breu	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
26	Castanha jarana folha grande	-	Lecythidaceae
27	Breu de leite	<i>Protium apiculatum</i> Swart.	Burseraceae
28	Araçá	<i>Myrcia sp.</i> DC. ex Guill.	Myrtaceae
29	Breu	<i>Protium cf. spruceanum</i> (Benth.) Engl.	Burseraceae
30	Ucuquirana	<i>Chrysophyllum sanguinolentum</i> subsp. <i>balata</i> (Ducke) T.D. Penn.	Sapotaceae
31	Matamata amarelo	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) Mart. ex Berg	Lecythidaceae
32	Pajurazinho	<i>Parinare excels</i> Sab.	Chrysobalanaceae
33	Castanha de cutia	<i>Casearia javitensis</i> Kunth	Flacourtiaceae
34	Envira amarela	<i>Duguetia cf. stelechantha</i> (Diels) R.E. Fr.	Annonaceae
35	Tanimbuca	<i>Buchenavia cf. parviflora</i> Ducke.	Combretaceae
36	-	<i>Myrcia sp.</i> DC. ex Guill.	Myrtaceae
37	Quaruba branca	-	Vochysiaceae
38	-	<i>Heisteria densifrons</i> Engler	Olacaceae
39	Muiratinga	<i>Soroceae muriculata</i> Miq.	Moraceae
40	Breu peludo	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	Burseraceae
41	Uxi preto	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Chrysobalanaceae
42	Quaruba branca	-	Vochysiaceae
43	Abiurana bacuri	<i>Pouteria cf. reticulata</i> (Engl.) Eyma	Sapotaceae
44	Caraipé	-	Chrysobalanaceae
45	Breu vermelho	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand ssp. <i>ulei</i> (Swart) Daly	Burseraceae
46	Breu vermelho	<i>Protium cf. hebetatum</i> D.C. Daly	Burseraceae
47	Macucu chiador	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Chrysobalanaceae

<i>N</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Nome científico</i>	<i>Família</i>
48	Abiurana fedorenta	<i>Pouteria cf. vernicosa</i> T.D. Penn.	Sapotaceae
49	Pitomba da mata	<i>Matayba inelegans</i> Spruce ex Radlk.	Sapindaceae
50	Embaubarana	<i>Pourouma sp.</i> Aubl.	Cecropiaceae
51	Macucu chiador	<i>Licania adolphoduckei</i> Prance	Chrysobalanaceae
52	Uxi de morcego	<i>Roucheria punctata</i> Ducke.	Hugoniaceae
53	Breu vermelho	<i>Protium cf. ferrugineum</i> (Engl.) Engl.	Burseraceae
54	Muirapiranga folha grande	<i>Eperua glabriflora</i> (Ducke) Cowan	Fabaceae-caesalpinoideae
55	Marupa roxo	<i>Simaba polyphylla</i> (Cavalcante) W.W. Thomas	Simaroubaceae
56	Breu	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
57	Breu manga	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
58	Sucupira preta	<i>Trichilia cf. pallida</i> Swartz	Meliaceae
59	Muirapiranga folha grande	<i>Eperua glabriflora</i> (Ducke) Cowan	Fabaceae-caesalpinoideae
60	Ucuquirana	<i>Chrysophyllum sanguinolentum subsp. spurium</i> (Ducke) T.D. Penn.	Sapotaceae
61	Ucuuba vermelha	<i>Virola theiodora</i> Warb.	Myristicaceae
62	Macucu	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Chrysobalanaceae
63	Breu vermelho	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
64	Breu peludo	<i>Protium cf. hebetatum</i> D.C. Daly	Burseraceae
65	Breu manga	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
66	Breu manga	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand ssp. <i>ulei</i> (Swart) Daly	Burseraceae
67	Araçá bravo	<i>Eugenia feijoi</i> O. Berg	Myrtaceae
68	Louro fofo	<i>Ocotea sp.</i> Aubl.	Lauraceae
69	Pitomba da mata	<i>Talisia sp.</i> Aubl.	Sapindaceae
70	Macucu chiador	<i>Licania adolphoduckei</i> Prance	Chrysobalanaceae

<i>N</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Nome científico</i>	<i>Família</i>
71	Breu vermelho	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand ssp. <i>ulei</i> (Swart) Daly	Burseraceae
72	Sapateiro	<i>Ternstroemia dentate</i> Sw.	Theaceae
73	Ingá ferro	<i>Swartzia cf. ingifolia</i> Ducke	Fabaceae-Faboideae
74	Abiurana	<i>Pouteria cf. peruviansis</i> (Aubrév.) Bernardi	Sapotaceae
75	Mucurão	<i>Gustavia cf. elliptica</i> S.A.Mori	Lecythidaceae
76	Abiurana abiu	<i>Pouteria sp.</i> Aubl.	Sapotaceae
77	Maçaranduba	<i>Manilkara sp.</i> Adans.	Sapotaceae
78	Sucupira	<i>Swartzia cf. reticulata</i> Ducke	Fabaceae-Faboideae
79	Envira	<i>Pseudoxandra coriaceae</i> R. E. Fr.	Annonaceae
80	Breu	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
81	Jaraí	<i>Pouteria opposita</i> (Ducke) T.D. Penn.	Sapotaceae
82	Araçá bravo	<i>Eugenia cf. florida</i> DC.	Myrtaceae
83	Ucuuba preta	<i>Diospyros guianensis</i> (Aubl.) Gürke	Ebenaceae
84	Louro chumbo	<i>Paraia bracteata</i> Rohwer, H. G. Richt. & Van der Werff.	Lauraceae
85	Abiurana roxa	<i>Pouteria cf. reticulata</i> (Engl.) Eyma	Sapotaceae
86	Envira preta	<i>Guatterioopsis friesiana</i> W.A. Rodrigues	Annonaceae
87	-	<i>Diospyros guianensis</i> (Aubl.) Gürke	Ebenaceae
88	Araçá bravo	<i>Eugenia cf. florida</i> DC.	Myrtaceae
89	Envira amarela	<i>Duguetia chrysea</i> Maas	Annonaceae
90	Envira amarela	<i>Duguetia chrysea</i> Maas	Annonaceae
91	Muiratinga	<i>Soroceae muriculata</i> Miq.	Moraceae
92	Urucurana branca	<i>Sandwithia guianensis</i> Lanj.	Euphorbiaceae
93	Castanha de paca	<i>Ampelocera edentula</i> Kuhlman.	Ulmaceae

<i>N</i>	<i>Nome comum</i>	<i>Nome científico</i>	<i>Família</i>
94	Mucurão	<i>Gustavia cf. elliptica</i> S.A.Mori	Lecythidaceae
95	Muiratinga	<i>Soroceae muriculata</i> Miq.	Moraceae
96	Breu vermelho	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
97	Breu vermelho	<i>Protium sp.</i> Burm. f.	Burseraceae
98	Arabá roxo	<i>Swartzia sp.</i> Schreb.	Leguminosae- papilinoideae
99	Macucu chiador	<i>Licania adolphoduckei</i> Prance	Chrysobalanaceae
100	Urucurana branca	<i>Sandwithia guianensis</i> Lanj.	Euphorbiaceae

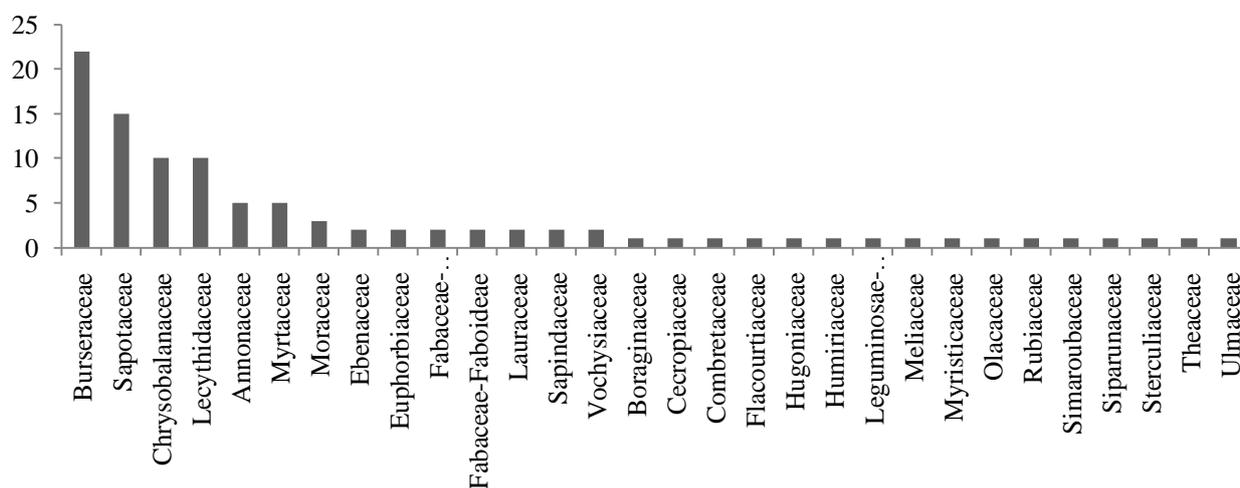


Figura 16- Gráfico da abundância por família. Número acima das barras indica o número de indivíduos

5.2. Estatística descritiva da estrutura das árvores coletadas

As árvores da campinarana são, geralmente, mais finas e baixas que as da floresta densa, esta diferença mostra uma distinção de sítio entre as fitofisionomias. A qualidade do sítio pode ser expressa pela altura dominante (Hdom), que é a média da altura total dos 20% das árvores mais grossas. A Hdom da campinarana ZF-2 é de 24,6 metros enquanto da

floresta densa adjacente é de 28,6 metros (Silva, 2007), significando que na área de estudo a campinarana é, em média, 14% mais baixa que a floresta densa. As duas fitofisionomias estão muito próximas, possuindo as mesmas condições de temperatura e precipitação. Isto corrobora com o consenso existente entre diversos pesquisadores de que os fatores limitantes das campinaranas são as condições edáficas (Prance, 1975; Klinge *et al.*, 1977; Luizão, 2007).

A tabela 5 informa os dados de DAP, altura comercial e altura total das árvores. O DAP máximo foi 50,2 cm, não distanciando muito do DAP máximo de 58,0 cm, medido por Klinge e Herrera (1983), em uma campinarana da Venezuela. O DAP médio foi de $13,4 \pm 1,9$ cm (IC95%).

A altura comercial mínima foi 3,4 m e a máxima 18,8 m, com média de $9,6 \pm 0,7$ (IC 95%). As alturas totais mínimas e máximas foram 7,0 m e 28,8 m, e a média foi $15,9 \pm 1,1$ (IC95%). As alturas das árvores mensuradas são bastante similares às alturas de outras campinaranas. Na campinarana estudada por Takeuchi (1960), no noroeste da Amazônia, a altura máxima foi 25 metros, enquanto que no estudo de Rodrigues (1961), em uma campinarana da Venezuela, a maior árvore teve 29 metros de altura.

Tabela 5-DAP, altura comercial (HC) e altura total (HT)

	DAP	HC	HT
N	100	100	100
Média	13,4	9,6	15,9
MIN	5,0	3,4	7,0
MAX	50,2	18,8	28,7
DESV PAD	9,9	3,7	5,8
IC (95)%	1,9	0,7	1,1
Incerteza(%)	14,49	7,63	7,15

5.2.1. Distribuição diamétrica

Para verificar a representatividade da amostra em relação à população da Campinarana (20 hectares), testou-se a hipótese nula de que os dados seguissem a distribuição de Weibull. Para tanto, foi realizado o teste de qui-quadrado. A tabela 6 apresenta as 10 classes de diâmetro com suas respectivas frequências e probabilidades.

Tabela 6 - Valores das probabilidades e de qui-quadrado das classes diamétricas.

CD	FO	P	FE	χ^2
7,5	53	0,5209	52,0949	0,0157
12,5	16	0,2114	21,1415	1,2504
17,5	13	0,1110	11,0966	0,3265
22,5	6	0,0623	6,2332	0,0087
27,5	3	0,0364	3,6385	0,1120
32,5	4	0,0218	2,1800	1,5194
37,5	1	0,0133	1,3318	0,082
42,5	2	0,0083	0,8262	1,6678
47,5	1	0,0052	0,5190	0,4458
>50	1	0,0094	0,9384	0,0040
Soma	100	1	100	5,433

Onde: CD=centro de classe de diâmetro; FO=Frequência observada; P= probabilidade; FE=frequência estimada pela distribuição de *Weibull*; χ^2 = qui-quadrado

O valor obtido de qui-quadrado foi menor que o valor tabelado a um nível de 5% de significância. A probabilidade foi de 0,79, isto significa que a hipótese nula não foi rejeitada e

que os dados seguem a mesma distribuição de diâmetro da população de floresta densa estudada por Higuchi em 1987, na mesma reserva (Santos, 1996). A figura 17 mostra como a frequência observada (FO) é similar à estimada (FE). Como esse resultado, pode-se afirmar que a coleta de dados foi suficiente, pois atendeu às frequências de árvores em classes diamétricas encontrada para a Amazônia.

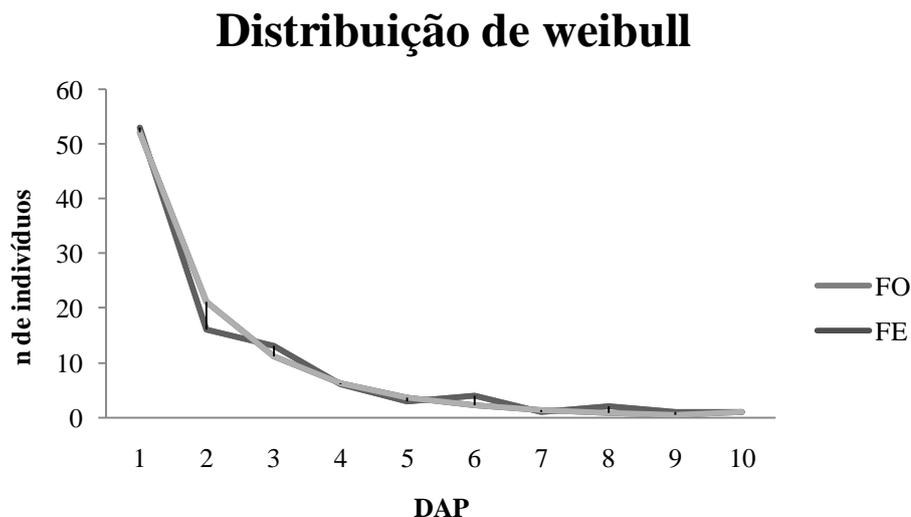


Figura 17 - Gráfico da frequência observada e estimada dos diâmetros de 100 árvores da campinarana ZF-2.

5.3. Método direto – estudo de biomassa em parcelas fixas

5.3.1. Biomassa aérea (acima do solo) de parcelas fixas

O peso de massa fresca médio da vegetação acima do solo, incluindo árvores, mudas, palmeiras e cipós, foi 4528 ± 1530 kg (IC95%) para 100m². Esta estimativa é próxima à que Klinge e Herrera (1983) calcularam para uma campinarana ao sul da Venezuela, que foi igual a $5540 \pm 913,2$ kg (IC 95%) para 100 m².

Silva (2007) também utilizou o mesmo método em 11 parcelas de floresta ombrófila densa na mesma área da campinarana da EEST. O valor obtido por este estudo foi de $7774 \pm$

2312 kg (IC 95%), com incerteza de 30%. Não houve diferença significativa entre a biomassa aérea da campinarana e floresta primária densa da ZF-2 (ANOVA, $F_{1,14} = 3,06$; $p = 0,102$) (Figura 18). Klinge e Herrera (1983) também não verificaram diferença significativa entre a biomassa aérea da campinarana e da floresta densa na Venezuela, no entanto, houve diferença entre a biomassa de raízes. Neste estudo, não há como comparar a biomassa total de raízes das parcelas com os resultados da floresta densa, pois as raízes coletadas foram exclusivamente de árvores individuais ($DAP \geq 5$ cm) e independentes de parcelas fixas.

As incertezas do método direto são tão altas que é possível que se fizesse uma maior amostragem, haveria diferença entre as fitofisionomias. Os resultados corroboram com a afirmação feita por Brown (1989) de que o método direto não é confiável porque se baseia em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas.

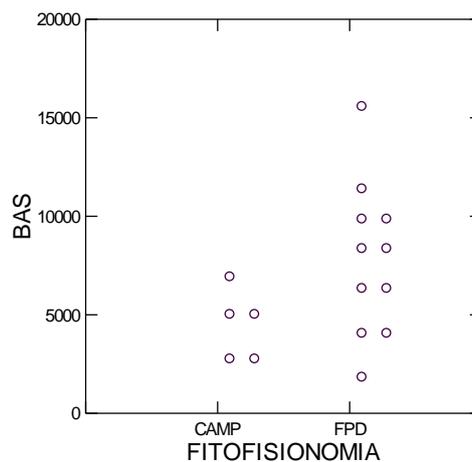


Figura 18 – Gráfico de dispersão da biomassa total acima do solo (BAS) de floresta primária densa (FPD) (Silva, 2007) e da campinarana da EEST (CAMP).

5.3.1.1. Composição da biomassa aérea

O peso de massa fresca médio das mudas foi 127 ± 29 kg (IC 95%) em 100m², representando 12,7 toneladas t/ha, a incerteza foi de 24 %. O peso de massa fresca médio de cipós foi 84 ± 83 kg (IC 95%) em 100 m², a incerteza foi 102 %, representando 8,4 t/ha. As palmeiras tiveram peso fresco médio de 68 ± 33 kg (IC 95%) em 100 m² ou 6,86 t/ha, a

incerteza da estimativa é de 60%. Por fim, as árvores tiveram peso médio de 4263 ± 1468 kg (IC 95%), representando 426,28 t/ha (incerteza de 36,2%) (Tabela 7).

Tabela 7- Pesos de massa fresca dos componentes da biomassa aérea de campinarana

	PF mudas (kg)	PF cipós (kg)	PF palmeiras (kg)	Árvores (kg)
n (100 m ²)	10	5	10	5
média	127,06	84,22	58,67	4262,84
Desvio padrão	47,05	94,79	54,13	1675,35
IC (95%)	29,16	83,08	33,55	1468,48
Incerteza (%)	24,12	103,68	60,10	36,21

Para o cálculo da composição em percentual foram utilizadas somente as cinco parcelas em que todos os componentes foram pesados (Tabela 8). As árvores (DAP > 5 cm) representam a maior parte da biomassa da campinarana, representando $94\% \pm 2,6$ (IC 95%) da biomassa aérea total (incerteza de 2,7%).

Os demais componentes tiveram contribuições muito menores e incertezas bem maiores. As mudas representam $2,5\% \pm 0,88$, os cipós $1,7\% \pm 1,1$ (IC95%) e as palmeiras $1,9\% \pm 1,9$ (IC95%) da biomassa aérea total (Figura 19). As incertezas das porcentagens para esses componentes foram de 25%, 64% e 68%, respectivamente. No estudo de Nascimento e Laurance (2002), em uma floresta ombrófila densa na Amazônia central, a contribuição de mudas foi de 5% e de cipós de 2% da biomassa total acima do solo.

Tabela 8 - Composição da biomassa acima do solo de campinarana (%)

	Mudas(%)	Cipós (%)	Palmeiras (%)	Árvores(%)
n (100m ²)	5	5	5	5
Media	2,496	1,726	1,955	93,823
Desvio padrão	1,003	1,261	2,162	2,964
IC (95%)	0,879	1,106	1,895	2,598
Incerteza (%)	26,18	64,04	68,55	2,77

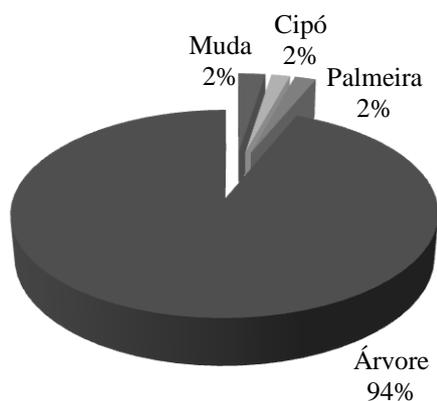
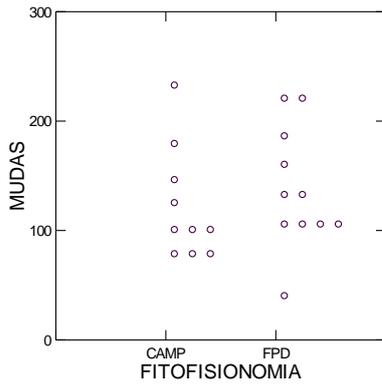


Figura 19 - Gráfico da composição da biomassa aérea de campinaranas

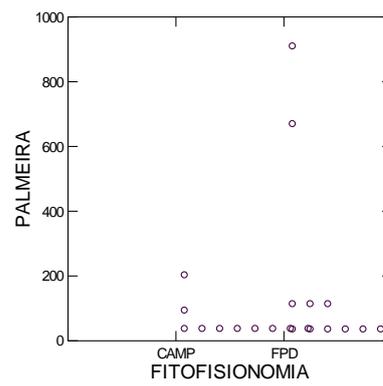
Todas as incertezas citadas ultrapassaram em muito o limite aceitável de 10%, isto devido à pequena quantidade de amostras. Assim, mais uma vez, fica evidente o alto custo, o impacto ambiental e o longo tempo despendido para obtenção de resultados mais precisos utilizando-se o método direto. Segundo Silva (2007) a coleta de dados feita a partir do método indireto, chega a ser 10.000 vezes mais rápida.

Não houve diferença significativa entre a biomassa de nenhum dos componentes da biomassa acima do solo da floresta primária em comparação à campinarana da EEST (Figura 20).

ANOVA, $F_{1,19} = 0,18$; $p = 0,67$)



(ANOVA, $F_{1,19} = 2,1$; $p = 0,16$),



(ANOVA, $F_{1,14} = 0,4$ $p = 0,53$)

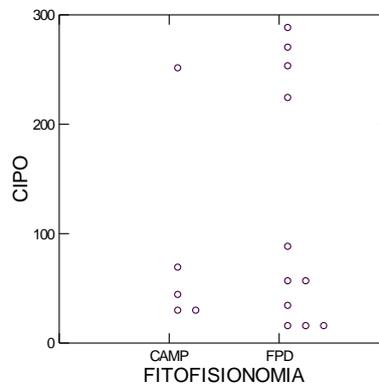


Figura 20 – Gráficos de dispersão de pontos (amostras) dos pesos de mudas, palmeiras e cipós da floresta primaria densa (FDP) e da campinarana (CAMP).

5.3.2. Serapilheira de parcelas fixas

O peso médio da serapilheira, ou necromassa, foi 2767 ± 155 kg (IC 95%) em 100m² ou 28 t/ha, com incerteza de 59%. A parte viva representou $94\% \pm 2,7$ (IC 95%) do peso total acima do solo, enquanto a necromassa foi responsável por $6\% \pm 2,7$ (IC 95%) (Figura 21 e Tabela 9). No campo é visível que o acúmulo de serapilheira no solo da campinarana é maior que na floresta densa, no entanto, mesmo a média da necromassa da campinarana sendo maior, não houve diferença significativa entre as fitofisionomias (ANOVA, $F_{1,14} = 0,14$; $p = 0,7$) (Figura 22).

Segundo Madergan (2007), a presença de compostos fenólicos, a baixa concentração de nitrogênio nas folhas e a alta relação C/N foliar da campinarana sugere que as comunidades de decompositores do solo tendem a ficar inibidas pela baixa qualidade das folhas. Medina *et al.* (1990) afirmam que muitas campinaranas ficam inundadas durante e após chuvas fortes e que a decomposição da serapilheira é mais lenta que na floresta densa pela condição anaeróbica dos decompositores e também pela qualidade das folhas.

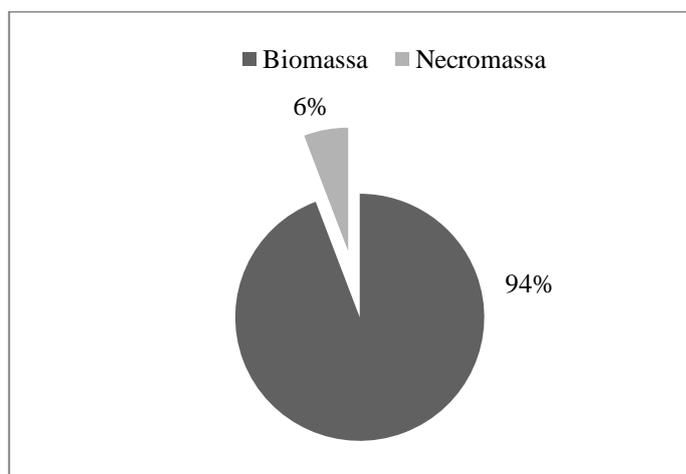


Figura 21 - Gráfico da relação (%) entre biomassa total acima do solo e da necromassa da campinarana.

Tabela 9 - Biomassa e necromassa acima do solo de campinaranas

	Biomassa (kg)	Necromassa (kg)
n	5	5
média	4528,64	276,80
Desvio padrão	1746,14	177,37
IC (95%)	1530,53	155,47
Incerteza (%)	35,52	59,03

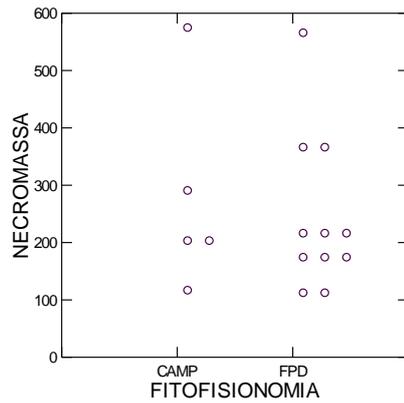


Figura 22 - Necromassa da floresta primária (FPD) densa e campinarana da EEST (CAMP)

5.3.3. Biomassa individual das árvores

Os valores médios da biomassa das 100 árvores coletadas e suas respectivas medidas de dispersão estão na tabela 10. A média do peso massa fresca aéreo das 100 árvores coletadas foi 393 ± 165 kg (IC95%), e das raízes 48 ± 21 kg (IC 95%). Percentualmente, significa que, da biomassa total das árvores individuais, $88\% \pm 0,8$ está acima do solo e $12\% \pm 0,8$ (IC95%) está abaixo do nível do solo (Figura 23). As incertezas são de 0,97% e 7,12%, respectivamente.

Tabela 10- Peso fresco acima do solo e de raízes

	Peso fresco acima do solo (kg)	Peso fresco abaixo do solo (kg)
n	100	100
Média	393,75	48,01
Desvio padrão	845,28	107,10
IC (95%)	165,67	20,99
Incerteza (%)	42,08	43,73

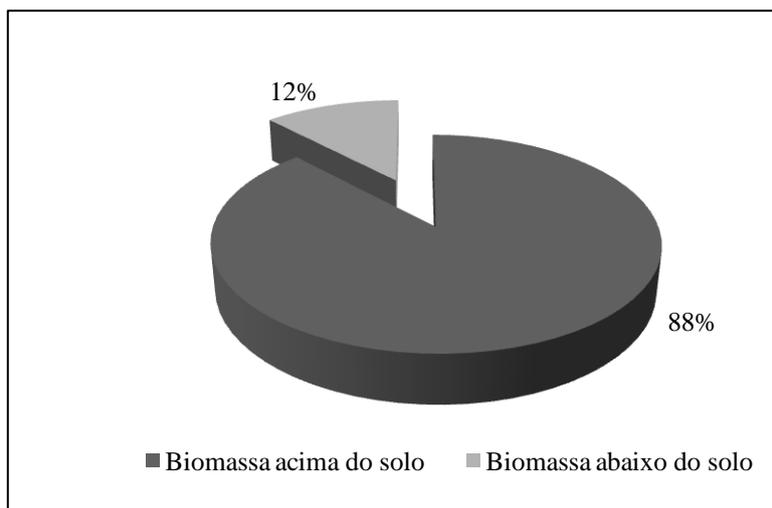


Figura 23- Gráfico da proporção entre peso fresco aéreo e de raiz.

Muitos estudos na Amazônia consideram que a biomassa das raízes seja 20% do valor da biomassa aérea (Klinge e Herrera, 1983; Gibbs *et al.*, 2007). Neste estudo, no entanto, observou-se que essa relação é menor para a campinarana EEST, o que também difere do trabalho de Klinge e Herrera (1978), que observaram que a vegetação de campinarana ao sul da Venezuela tinha 34% da biomassa alocada nas raízes. Apesar de ter pouca biomassa, muitas raízes das árvores da campinarana ZF-2 eram pivotantes, chegando até três metros de profundidade (Figura 24).



Figura 24 - Fotos das raízes pivotantes da campinarana

Utilizando apenas as árvores das parcelas fixas, verificou-se que há diferença significativa ($\alpha=0,05$) entre a biomassa de raízes das árvores individuais, porém, não há diferença entre a biomassa aérea entre a campinarana e a floresta densa da ZF-2. (Figura 25).

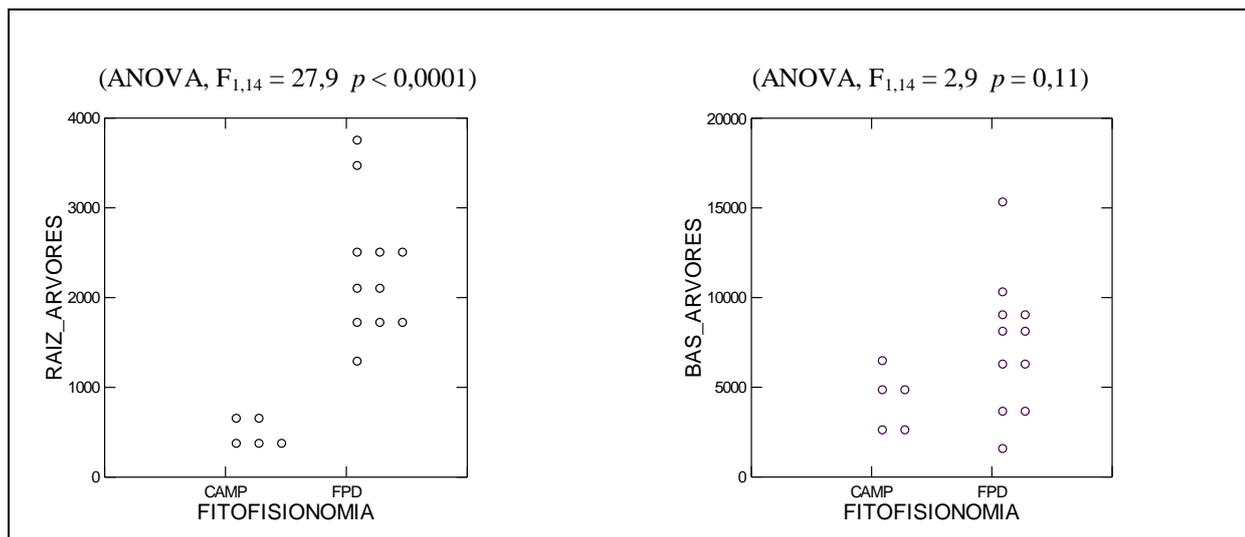


Figura 25 - Distribuição de pontos da biomassa acima do solo e de raízes da floresta primária densa e da campinarana.

5.3.3.1. Biomassa aérea dos compartimentos das árvores

As médias dos pesos por compartimento e as incertezas correspondentes estão na Tabela 11. Das 100 árvores pesadas, apenas 27 apresentaram galhos grossos, três não possuíam folhas e uma árvore não tinha raízes mais grossas. Por essa razão, foi necessário calcular também o peso fresco ponderado para cada compartimento (Tabela 12).

Tabela 11 - Peso massa fresca dos compartimentos das árvores.

PF (kg)	PF F (kg)	PF GF (kg)	PF GG (kg)	PF T (kg)	PF raízes MeG (kg)	PF raízes MaG (kg)
n	100	100	100	100	100	100
Média	9,079	60,77	78,281	240,847	6,891	40,587
Desv.pad	17,88	133,208	239,726	478,053	12,329	94,925
IC (95%)	3,504	26,108	46,985	93,697	2,416	18,605
Incerteza(%)	38,599	42,963	60,022	38,903	35,067	45,840

Onde: PF=peso massa fresca; F=folha; GF= galho fino; GG=galho grosso; T=tronco; MeG=menos grossa; Mag=mais grossa.

Tabela 12 - Peso massa fresca ponderado por compartimento

PF (kg)	PF F (kg)	PF GF (kg)	PF GG (kg)	PF T (kg)	PF raízes MeG (kg)	PF raízes MaG (kg)
n	97	100	27	100	100	99
Média	9,36	60,77	289,93	240,85	6,89	41,00
Desv. pad	18,08	133,21	393,83	478,05	12,33	95,32
IC (95%)	3,60	26,11	151,38	93,70	2,42	18,78
Incerteza (%)	38,45	42,96	51,24	38,90	35,07	45,80

Onde: PF=peso massa fresca; F=folha; GF= galho fino; GG=galho grosso; T=tronco; MeG=menos grossa; Mag=mais grossa.

A biomassa aérea das árvores amostradas está dividida da seguinte maneira: $4\% \pm 0,7$ (IC 95%) são referentes às folhas, $21\% \pm 2,2$ (IC95%) aos galhos finos, $5\% \pm 1,8$ (IC95%) aos galhos grossos e $70\% \pm 2,7$ (IC 95%) aos troncos (Figura 26). Portanto, o tronco representa, aproximadamente, $70\% \pm 2,6$ (IC 95%) e a copa $30\% \pm 2,6$ (IC 95%) do peso das árvores (Figura 27).

A maior diferença existente entre as composições percentuais da biomassa da campinarana e da floresta densa é referente aos galhos. Na floresta densa, os galhos grossos representam 10,6%, na campinarana 5%. Isto ocorre, possivelmente, porque a campinarana é mais baixa e possui poucas árvores mais grossas que tenham galhos com diâmetro acima de 10 centímetros.

Saber como a biomassa está distribuída nas árvores é importante não só para compreensão da ciclagem de nutrientes como também para calcular o impacto de queimadas. Segundo Carvalho Jr *et al.* (1995) na primeira queima da floresta na região de Manaus, somente 25% da floresta é completamente queimada, dessa quantia, menos de 5% é referente a troncos e galhos grossos.

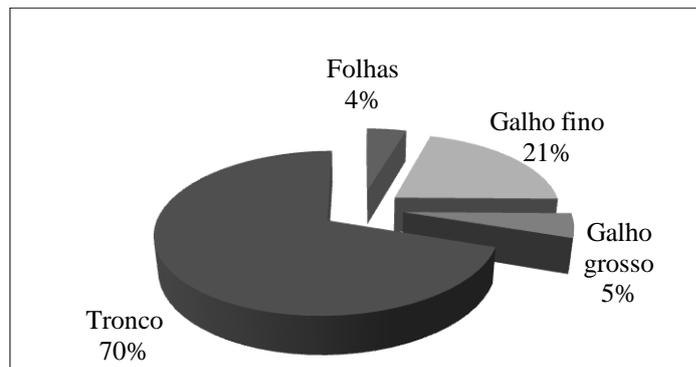


Figura 26- Distribuição proporcional da biomassa aérea das árvores

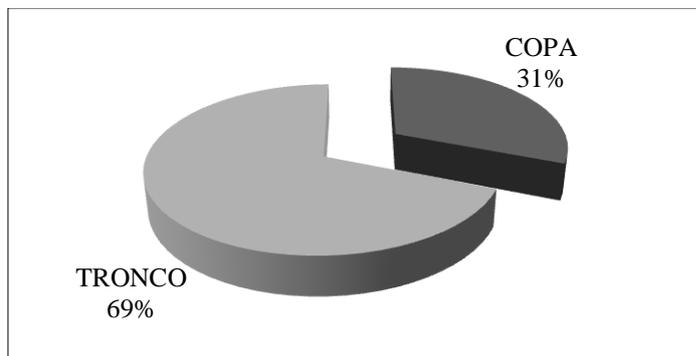


Figura 27 - Gráfico da relação da biomassa entre copa e tronco em porcentagem.

5.3.3.2. Biomassa das raízes grossas das árvores

A média da biomassa das raízes menos grossas foi de $6,9 \pm 2,4$ (IC95%) kg com incerteza de 35%. O peso de massa fresca médio das raízes mais grossas foi $40,6 \pm 18,6$ (IC95%) kg. Percentualmente as raízes mais grossas representam $73 \pm 3,63\%$ e as raízes menos grossas $27 \pm 3,63\%$ (Figura 28).

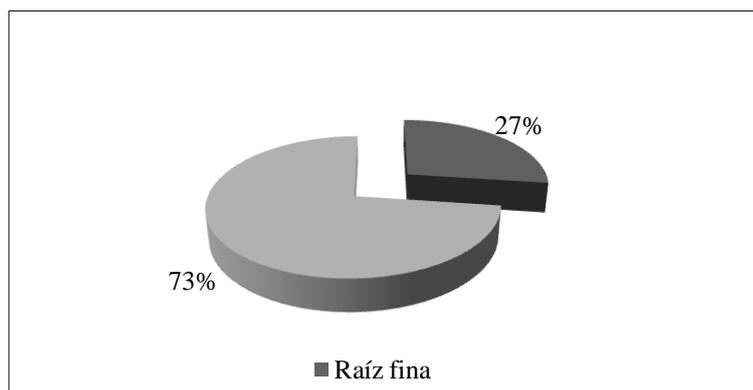


Figura 28 - Gráfico da relação percentual entre a biomassa de raízes mais grossas e menos grossas.

5.4. Equações alométricas para estimar biomassa de campinaranas

Os modelos utilizados neste estudo foram escolhidos porque tiveram bons desempenhos nos trabalhos de Santos (1996) e Silva (2007), possivelmente por isso, todas as equações foram altamente significativas (ANOVA, $p < 0,0001$). Os modelos foram testados com o banco integral de dados ($n=100$) e também dividindo-os em duas categorias de diâmetro: árvores entre 5 e 10 cm de DAP ($n = 53$) e árvores com DAP maior ou igual a 10 cm ($n = 47$).

Os erros apresentados nas tabelas foram recalculados, pois aqueles originalmente gerados pela regressão no *Systat* eram referentes aos logaritmos naturais dos pesos frescos (lnPF) e não ao peso fresco propriamente dito, conseqüentemente, não poderiam ser comparados com os das equações exponenciais. Fez-se este recálculo aplicando os modelos, já com os coeficientes, aos dados originais, obtendo assim o lnPF estimado de cada árvore.

Calculando o exponencial desses valores obtiveram-se os valores dos pesos frescos estimados (PF). A partir dos resíduos calculados pela diferença entre pesos observados e estimados, fez-se o quadrado médio dos resíduos (variância), erro padrão da estimativa (desvio padrão) e o desvio padrão da média (S_{xy}), segundo a fórmula:

$$S_{xy} = \frac{EPE}{\sqrt{n}}$$

O indicador final apresentado no trabalho é o desvio padrão da média em porcentagem, calculados pela equação:

$$S_{xy\%} = \frac{S_{xy}}{média} * 100$$

Nas tabelas 13 a 23 estão os modelos ajustados e seus respectivos parâmetros de comparação (R^2 e $S_{xy\%}$). As distribuições dos resíduos dos modelos aparecem logo após às tabelas (Figuras de 29 a 39).

5.4.1. Biomassa total (aérea e raiz)

5.4.1.1. Biomassa total utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm (n=100)

Tabela 13- Equações da biomassa total para árvores de DAP \geq 5 cm

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	$S_{xy\%}$	R^2
1	$\ln PF_{total} = -1,373 + 2,546 * \ln DAP$	-1,373	2,546	-	4,19	0,98
2	$\ln PF_{total} = -1,938 + 2,344 * \ln DAP + 0,388 * \ln HT$	-1,938	2,344	0,388	4,25	0,98
3	$\ln PF_{total} = -1,470 + 2,498 * \ln DAP + 0,097 * \ln HC$	-1,470	2,498	0,097	4,32	0,98
4	$\ln PF_{total} = -2,792 + 1,003 * \ln D^2 HT$	-2,792	1,003	-	5,12	0,98

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	$S_{xy}\%$	R^2
5	$PF_{total} = 0,175 * DAP^{2,653}$	0,175	2,653	-	4,09	0,97
6	$PF_{total} = 0,005 * DAP^{2,115} * HT^{1,716}$	0,005	2,115	1,716	3,38	0,98
7	$PF_{total} = 0,186 * DAP^{2,662} * HC^{-0,035}$	0,186	2,662	-0,035	4,11	0,97

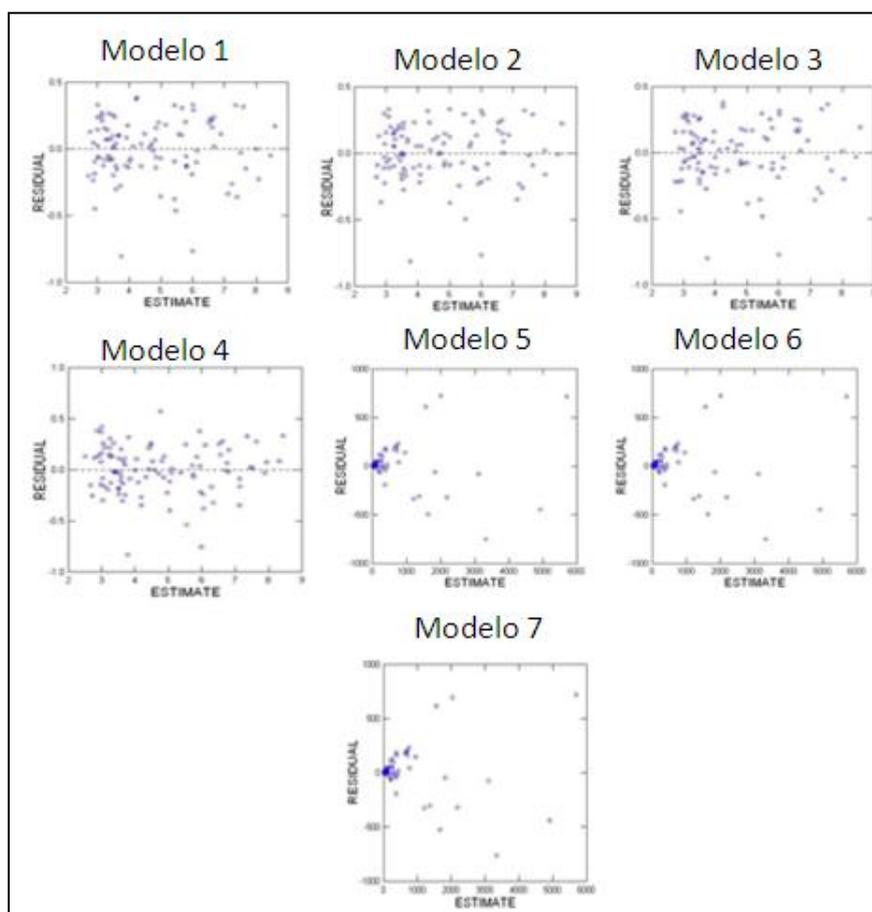


Figura 29 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; $DAP \geq 5$ cm ($n=100$)

Todos os modelos testados apresentaram $S_{xy}\%$ abaixo do limite de 10%, ou seja, todos podem ser utilizados para estimar a biomassa total de campinaranas. Os coeficientes de determinação foram altos, próximos a 1,0 e variaram pouco entre as equações. Isto indica que todas elas explicam bem a variação dos dados.

As equações exponenciais, ao contrário das logarítmicas, tiveram uma distribuição de resíduos mais inconsistente, com grande parte dos pontos concentrados nas primeiras classes

de diâmetro. Sem dúvida, a equação logarítmica de simples entrada (modelo 1) foi a que apresentou melhores parâmetros.

5.4.1.2. Biomassa total utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e menor ou igual a 10 cm (n=53).

Tabela 14 - Equações da biomassa total para árvores da regeneração natural

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{total} = -1,431 + 2,577 * \ln DAP$	-1,431	2,577	-	11,27	0,80
2	$\ln PF_{total} = -1,900 + 2,306 * \ln DAP + 0,403 * \ln HT$	-1,900	2,306	0,403	10,08	0,82
3	$\ln PF_{total} = 1,485 + 2,535 * \ln DAP + 0,070 * \ln HC$	1,485	2,535	0,070	11,08	0,80
4	$\ln PF_{total} = -2,110 + 0,893 * \ln D^2 HT$	-2,110	0,893	-	11,25	0,80
5	$PF_{total} = 0,183 * DAP^{2,722}$	0,183	2,722	-	3,28	0,82
6	$PF_{total} = 0,089 * DAP^{2,285} * HT^{0,635}$	0,089	2,285	0,635	2,92	0,86
7	$PF_{total} = 0,165 * DAP^{2,577} * HC^{0,198}$	0,165	2,577	0,198	3,25	0,82

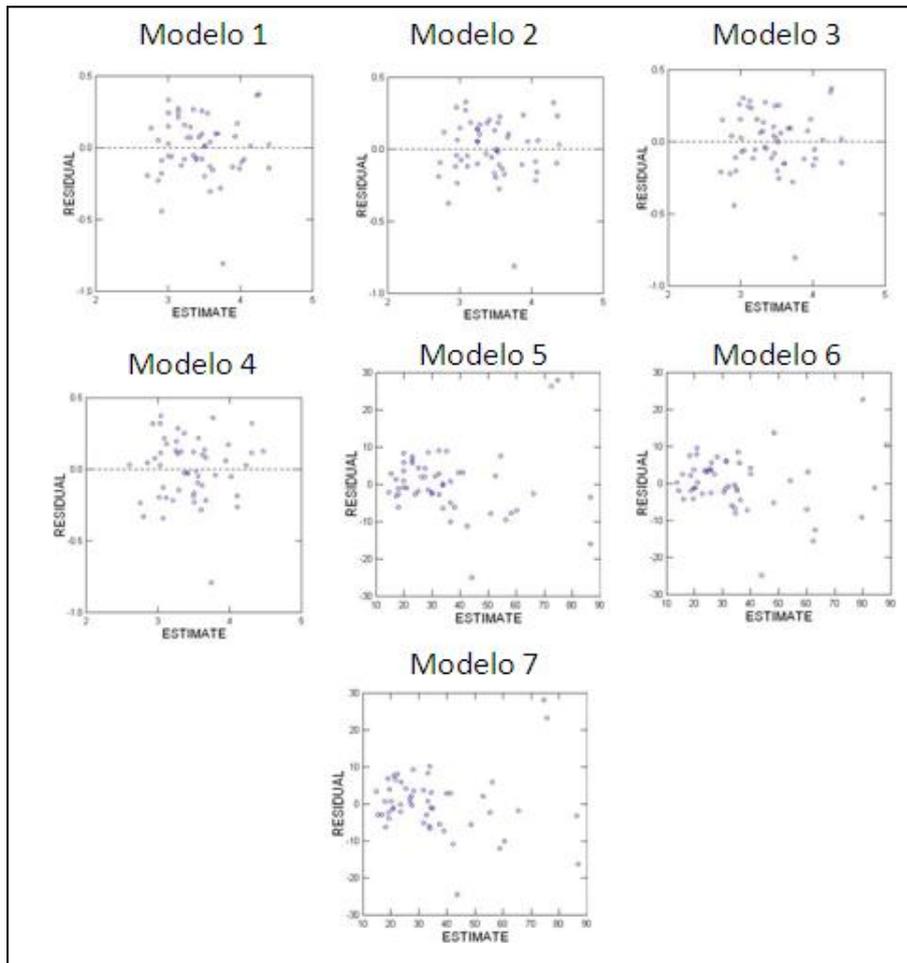


Figura 30 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; $5 \leq \text{DAP} < 10$ cm ($n = 53$)

Muitos inventários florestais na Amazônia consideram as árvores de DAP entre 5 e 10 centímetros como regeneração natural. Por isso, a importância de se ter equações para estimar a biomassa desta classe de diâmetro. Das sete equações testadas, apenas as exponenciais tiveram erros menores que 10%. Os coeficientes de determinação e as distribuições de resíduos dessas equações foram razoáveis e podem ser utilizadas para estimar a biomassa total da regeneração natural de campinaranas.

A equação exponencial de dupla entrada (modelo 5) foi a que teve menor erro e maior coeficiente de determinação, no entanto, além do DAP, o modelo tem como variável independente a altura total.

5.4.1.3. Biomassa total utilizando árvores com DAP maior ou igual a 10 cm (n=47)

Tabela 15 – Equações da biomassa total para árvores de DAP ≥ 10 cm.

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{total} = -1,374 + 2,546 * \ln DAP$	-1,374	2,546	-	4,43	0,96
2	$\ln PF_{total} = -2,001 + 2,368 * \ln DAP + 0,385 * \ln HT$	-2,001	2,368	0,385	4,37	0,96
3	$\ln PF_{total} = -1,613 + 2,502 * \ln DAP + 0,148 * \ln HC$	-1,613	2,502	0,148	4,56	0,95
4	$\ln PF_{total} = -2,946 + 1,021 * \ln DAP^2 HT$	-2,946	1,021	-	4,83	0,95
5	$PF_{total} = 0,173 * DAP^{2,657}$	0,173	2,657	-	4,32	0,96
6	$PF_{total} = 0,004 * DAP^{2,116} * HT^{1,734}$	0,004	2,116	1,734	3,58	0,97
7	$PF_{total} = 0,184 * DAP^{2,665} * HC^{-0,034}$	0,184	2,665	-0,034	4,36	0,96

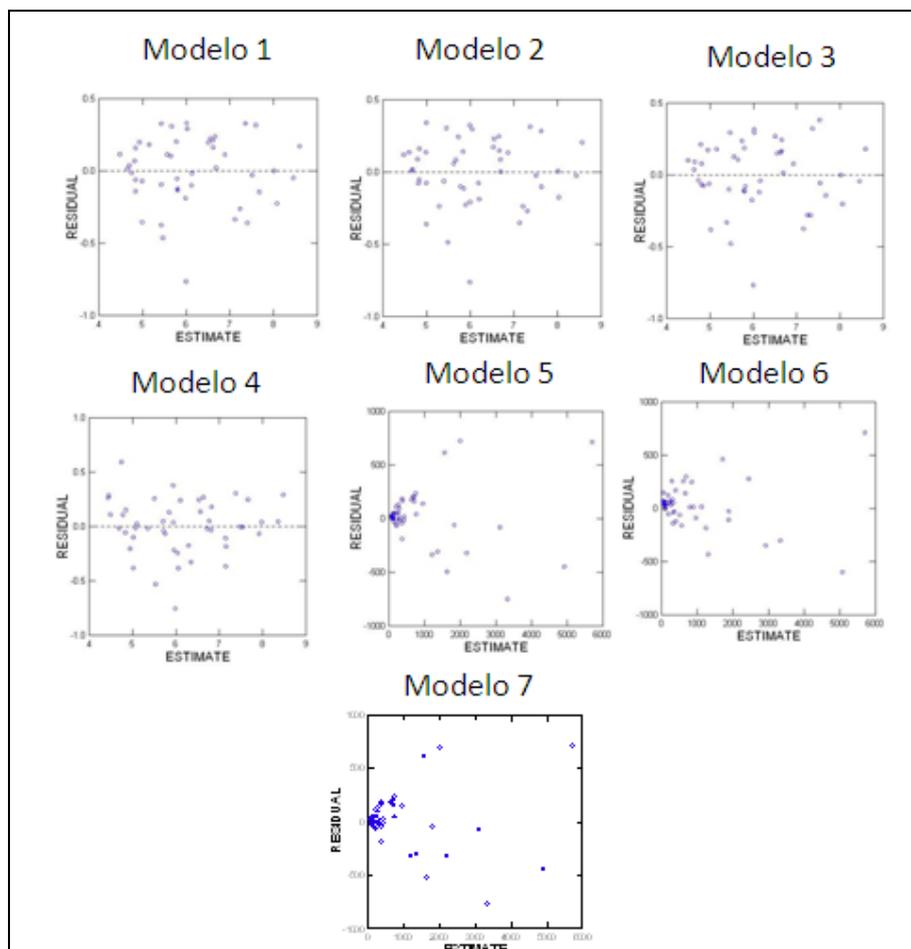


Figura 31 - Distribuição dos resíduos da biomassa total; DAP ≥ 10 cm (n=47)

Todas as equações tiveram erro inferior a 10% e R² maior que 95 %, no entanto, as distribuições dos resíduos das equações exponenciais foram inconsistentes. Apenas as equações logarítmicas devem ser utilizadas para estimar a biomassa total de árvores de DAP ≥ 10 cm. Os parâmetros de comparação das equações desenvolvidas para as das duas classes de diâmetros foram piores que os resultados obtidos com todos os dados em uma única equação. É aconselhável, portanto, trabalhar com as duas classes conjuntamente.

5.4.2. Biomassa acima do solo

5.4.2.1. Biomassa aérea utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm (n=100)

Tabela 16 - Equações da biomassa acima do solo para árvores de DAP ≥ 5 cm

Modelo	Equação	β1	β2	β3	Sxy%	R ²
1	$\ln\text{PFBAS} = -1,553 + 2,567 * \ln\text{DAP}$	-1,553	2,567	-	4,27	0,98
2	$\ln\text{PFBAS} = -2,246 + 2,319 * \ln\text{DAP} + 0,476 * \ln\text{HT}$	-2,246	2,319	0,476	4,25	0,98
3	$\ln\text{PFBAS} = -1,638 + 2,525 * \ln\text{DAP} + 0,086 * \ln\text{HC}$	-1,638	2,525	0,086	4,36	0,98
4	$\ln\text{PFBAS} = -2,990 + 1,012 * \ln\text{D}^2\text{HT}$	-2,990	1,012	-	4,92	0,98
5	$\text{PFBAS} = 0,176 * \text{DAP}^{2,620}$	0,176	2,620	-	4,25	0,96
6	$\text{PFBAS} = 0,004 * \text{DAP}^{2,059} * \text{HT}^{1,794}$	0,004	2,059	1,794	3,50	0,97
7	$\text{PFBAS} = 0,205 * \text{DAP}^{2,641} * \text{HC}^{-0,086}$	0,205	2,641	-0,086	4,26	0,96

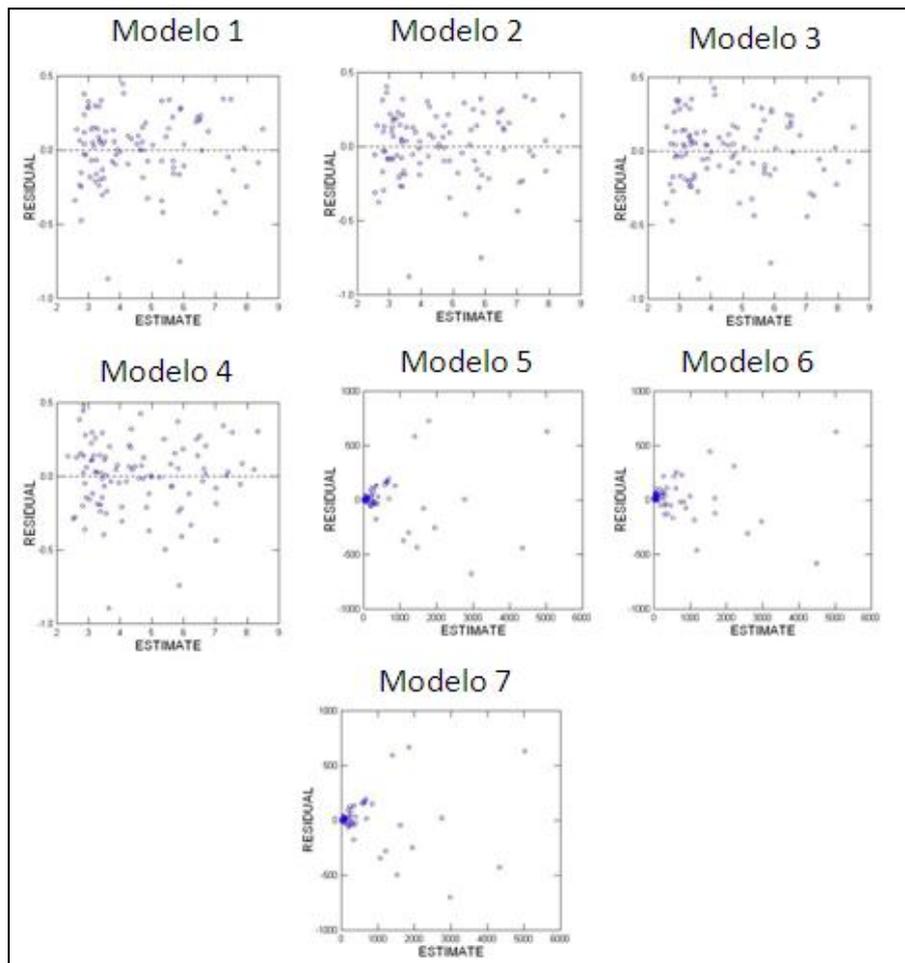


Figura 32- Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; DAP \geq 5cm (n=100).

Com exceção da distribuição dos resíduos, todos outros parâmetros das equações tiveram valores bem próximos. No entanto, mais uma vez, as equações logarítmicas são as mais indicadas por serem mais consistentes.

5.4.2.2. Biomassa aérea utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e menor ou igual a 10 cm (n = 53)

Tabela 17 - Equações da biomassa total para árvores da regeneração natural

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln\text{PFBAS} = -1,759 + 2,677 * \ln\text{DAP}$	-1,759	2,677	-	3,57	0,78
2	$\ln\text{PFBAS} = -2,338 + 2,342 * \ln\text{DAP} + 0,497 * \ln\text{HT}$	-2,338	2,342	0,497	11,23	0,80

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
3	$\ln\text{PFBAS} = -1,791 + 2,653 * \ln\text{DAP} + 0,04 * \ln\text{HC}$	-1,791	2,653	0,040	3,80	0,77
4	$\ln\text{PFBAS} = -2,527 + 0,938 * \ln\text{D}^2\text{HT}$	-2,527	0,938	-	3,12	0,78
5	$\text{PFBAS} = 0,127 * \text{DAP}^{2,84}$	0,127	2,842	-	3,50	0,81
6	$\text{PFBAS} = 0,051 * \text{DAP}^{2,303} * \text{HT}^{0,786}$	0,051	2,303	0,786	2,95	0,87
7	$\text{PFBAS} = 0,115 * \text{DAP}^{2,702} * \text{HC}^{0,189}$	0,115	2,703	0,189	3,48	0,82

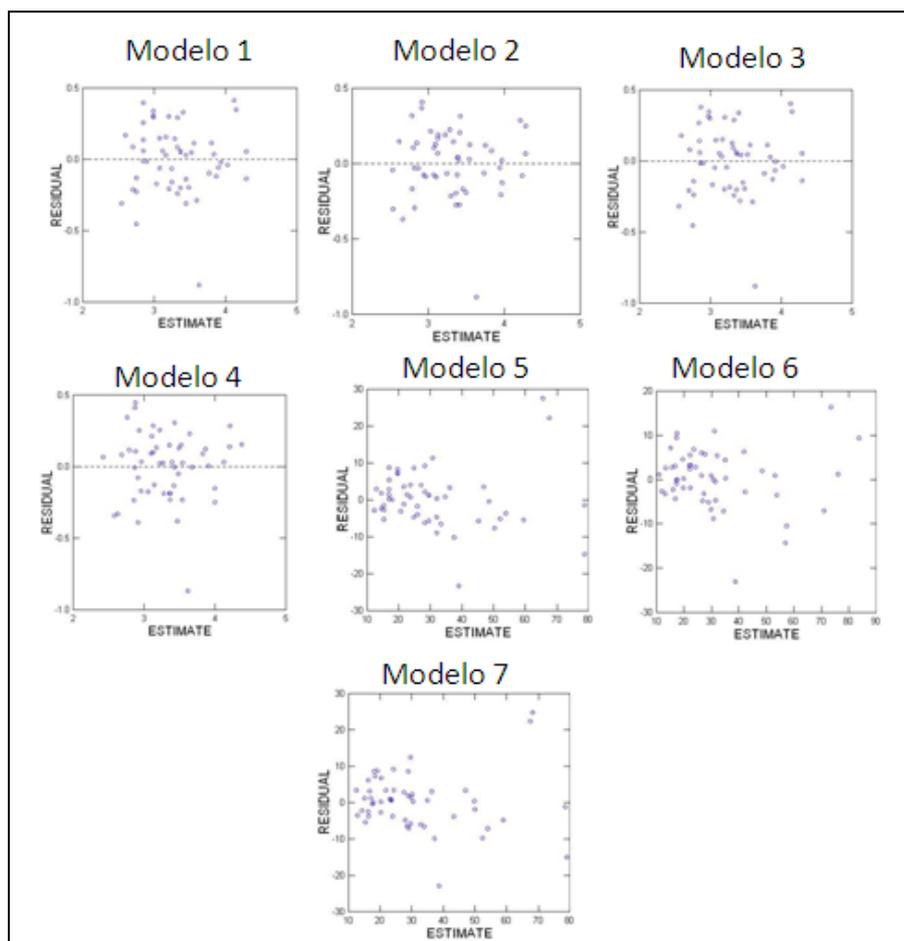


Figura 33- Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; $5 \leq \text{DAP} < 10$ cm (n = 53)

As equações exponenciais de simples entrada (DAP) e dupla entrada (DAP e altura total) que tiveram melhores parâmetros foram os modelos 5 e 6. Com exceção do modelo 2, todas as equações tiveram erro abaixo de 4%.

5.4.2.3. Biomassa aérea utilizando árvores com DAP maior ou igual a 10 cm (n=47)

Tabela 18- Equações da biomassa total para árvores de DAP ≥ 10 cm

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln\text{PFBAS} = -1,523 + 2,557 * \ln\text{DAP}$	-1,523	2,557	-	4,53	0,96
2	$\ln\text{PFBAS} = -2,250 + 2,350 * \ln\text{DAP} + 0,446 * \ln\text{HT}$	-2,250	2,350	0,446	4,42	0,96
3	$\ln\text{PFBAS} = -1,758 + 2,512 * \ln\text{DAP} + 0,146 * \ln\text{HC}$	-1,758	2,512	0,146	4,67	0,96
4	$\ln\text{PFBAS} = -3,111 + 1,026 * \ln\text{DAP}^2\text{HT}$	-3,111	1,026	-	4,79	0,95
5	$\text{PFBAS} = 0,175 * \text{DAP}^{2,622}$	0,175	2,622	-	4,49	0,95
6	$\text{PFBAS} = 0,004 * \text{DAP}^{2,06} * \text{HT}^{1,811}$	0,004	2,060	1,811	3,71	0,97
7	$\text{PFBAS} = 0,203 * \text{DAP}^{2,643} * \text{HC}^{-0,086}$	0,203	2,643	-0,086	4,53	0,95

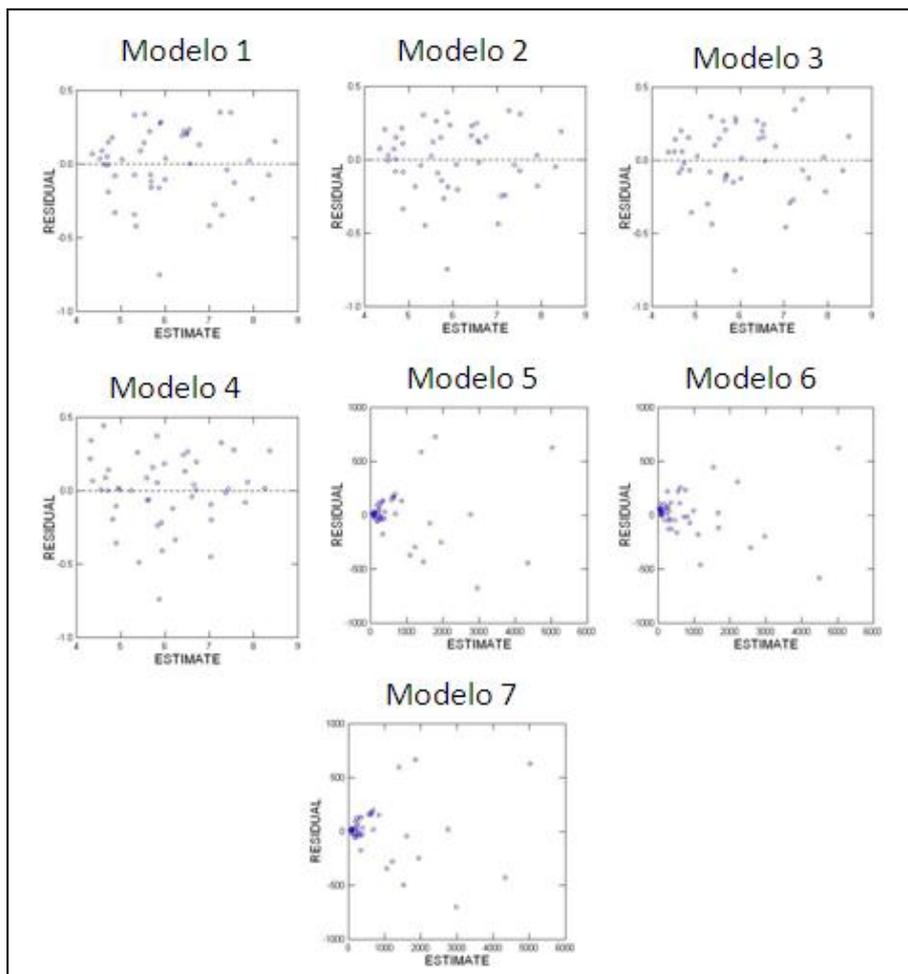


Figura 34 - Distribuição dos resíduos da biomassa acima do solo; DAP ≥ 10 cm (n=47)

As equações que melhor ajustaram os dados de biomassa aérea das árvores com DAP ≥ 10 cm foram os modelos logarítmicos 1 e 2. A distribuição dos resíduos das equações exponenciais novamente não foi consistente, os resíduos se expandem na medida em que se aumenta o DAP.

5.4.3. Biomassa de raiz

5.4.3.1. Biomassa de raiz utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm (n=100)

Tabela 19- Equações de raiz para árvores de DAP ≥ 5 cm.

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{raiz} = -3,268 + 2,428 * \ln DAP$	-3,268	2,428	-	6,49	0,94
2	$\ln PF_{raiz} = -2,988 + 2,528 * \ln DAP + 0,192 * \ln HT$	-2,988	2,528	-0,192	6,30	0,94
3	$\ln PF_{raiz} = -3,424 + 2,349 * \ln DAP + 0,158 * \ln HC$	-3,424	2,349	0,158	6,84	0,94
4	$\ln PF_{raiz} = -4,574 + 0,950 * \ln D^2 HT$	-4,574	0,950	-	8,49	0,93
5	$PF_{raiz} = 0,006 * DAP^{2,989}$	0,006	2,989	-	4,54	0,96
6	$PF_{raiz} = 0,001 * DAP^{2,627} * HT^{1,105}$	0,001	2,627	1,105	4,32	0,96
7	$PF_{raiz} = 0,002 * DAP^{2,88} * HC^{0,454}$	0,002	2,880	0,454	4,36	0,96

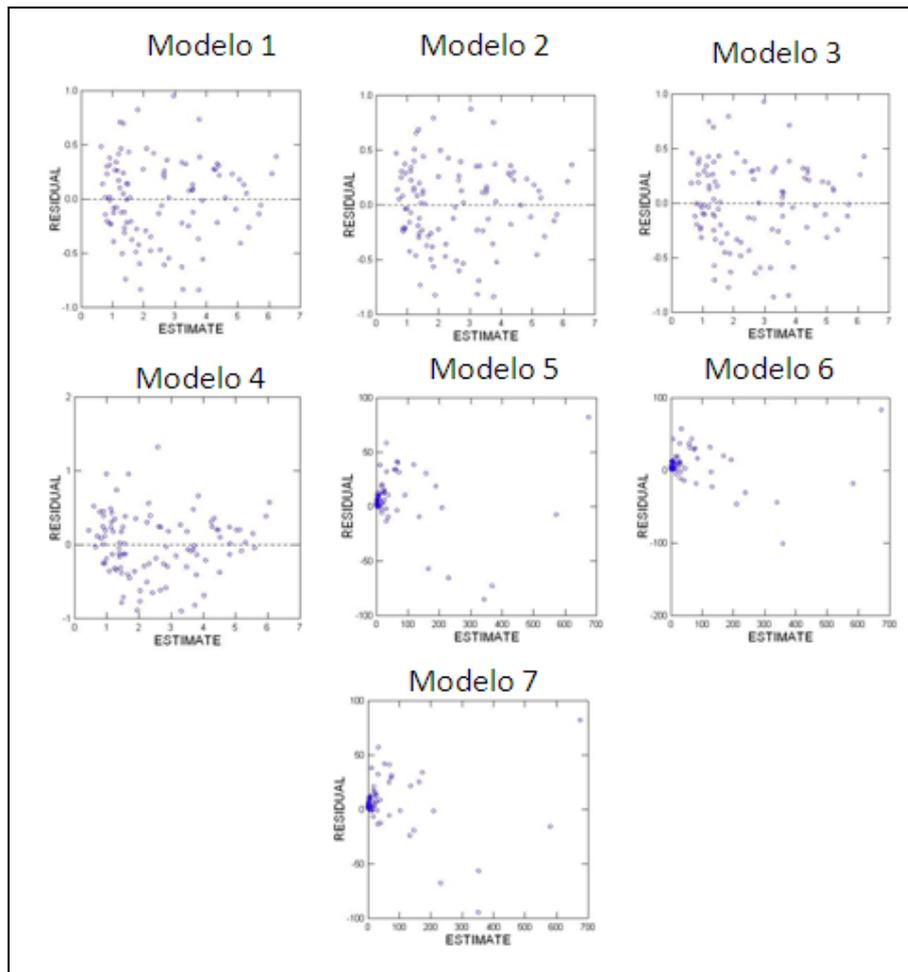


Figura 35 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raiz; DAP \geq 5 cm (n=100)

Apesar de apresentarem erros mais altos e coeficientes de determinação mais baixos, as três primeiras equações logarítmicas (modelos 1, 2 e 3) são as mais indicadas para estimar a biomassa de raízes de árvores de campinarana.

5.4.3.2. Biomassa de raiz utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm e menor ou igual a 10 cm (n=53)

Tabela 20- Equações da biomassa de raiz para árvores da regeneração natural.

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{raiz} = -2,061 + 1,788 * \ln DAP$	-2,061	1,788	-	6,57	0,41
2	$\ln PF_{raiz} = -1,750 + 1,967 * \ln DAP - 0,267 * \ln HT$	-1,750	1,967	-0,267	6,56	0,41

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
3	$\ln PF_{raiz} = -2,242 + 1,650 * \ln DAP + 0,231 * \ln HC$	-2,242	1,650	0,231	6,56	0,41
4	$\ln PF_{raiz} = -2,101 + 0,550 * \ln D^2 HT$	-2,101	0,550	-	7,00	0,31
5	$PF_{raiz} = 0,119 * DAP^{1,858}$	0,119	1,858	-	6,41	0,35
6	$PF_{raiz} = 0,188 * DAP^{2,192} * HT^{-0,447}$	0,188	2,192	-0,447	6,38	0,37
7	$PF_{raiz} = 0,102 * DAP^{1,671} * HC^{0,267}$	0,102	1,671	0,267	6,41	0,36

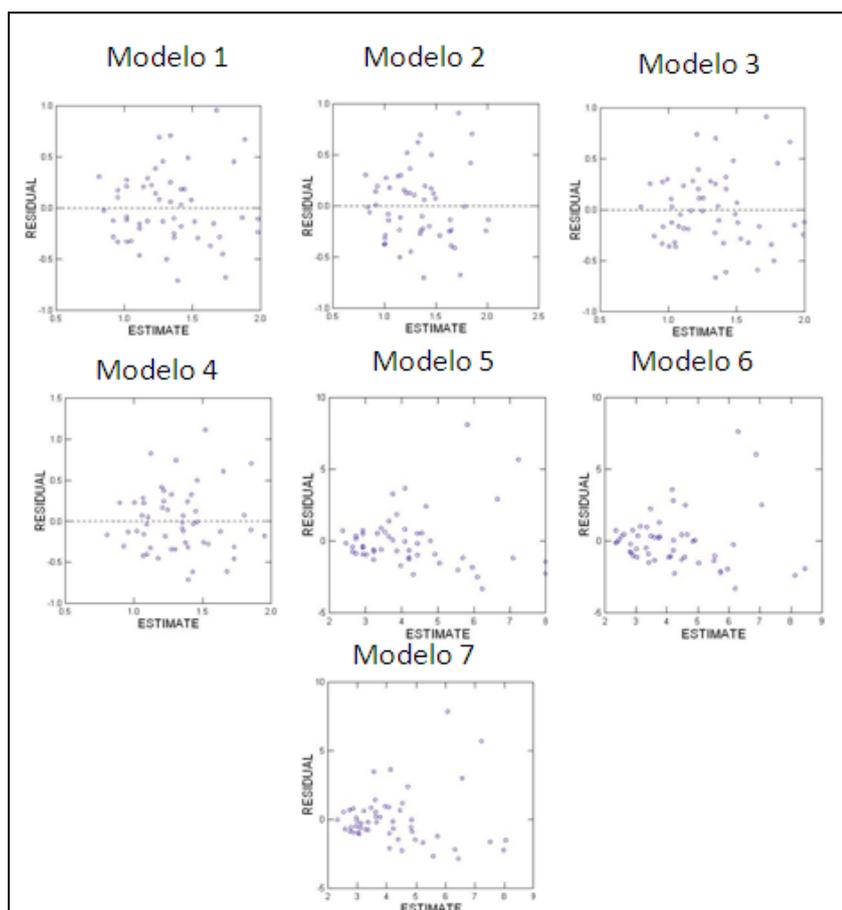


Figura 36 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raiz; $5 \leq DAP < 10$ cm (n=53)

Comparando as equações da biomassa da regeneração natural (total, aérea e de raízes) observa-se que, em geral, as equações foram mais precisas quando não se utilizou os dados de raízes. Isso indica que a maior fonte de variação dos dados da regeneração natural está nesse compartimento da árvore. Ainda assim, todas as equações de raízes tiveram erro abaixo de 10%. No entanto, os coeficientes de determinação foram baixos, mostrando que nenhum

modelo conseguiu absorver bem as variações dos dados. As melhores equações foram a logarítmica de simples entrada (DAP) e as duas logarítmicas de dupla entrada (DAP, HT ou HC), ou seja, modelos 1, 2 e 3.

5.4.3.3. Biomassa de raiz utilizando árvores com DAP maior ou igual a 10 cm (n=47)

Tabela 21- Equações da biomassa de raiz para árvores de DAP \geq 10 cm

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PFraiz = -3,471 + 2,499 * \ln DAP$	-3,471	2,499	-	6,05	0,89
2	$\ln PFraiz = -3,587 + 2,466 * \ln DAP + 0,071 * \ln HT$	-3,587	2,466	0,071	6,17	0,89
3	$\ln PFraiz = -3,746 + 2,448 * \ln DAP + 0,171 * \ln HC$	-3,746	2,448	0,171	6,11	0,89
4	$\ln PFraiz = -4,960 + 0,996 * \ln DAP^2 HT$	-4,960	0,996	-	7,09	0,87
5	$PFraiz = 0,005 * DAP^{2,999}$	0,005	2,999	-	4,79	0,95
6	$PFraiz = 0,001 * DAP^{2,630} * HT^{1,122}$	0,001	2,630	1,122	4,57	0,96
7	$PFraiz = 0,002 * DAP^{2,888} * HC^{-0,459}$	0,002	2,888	0,459	4,63	0,96

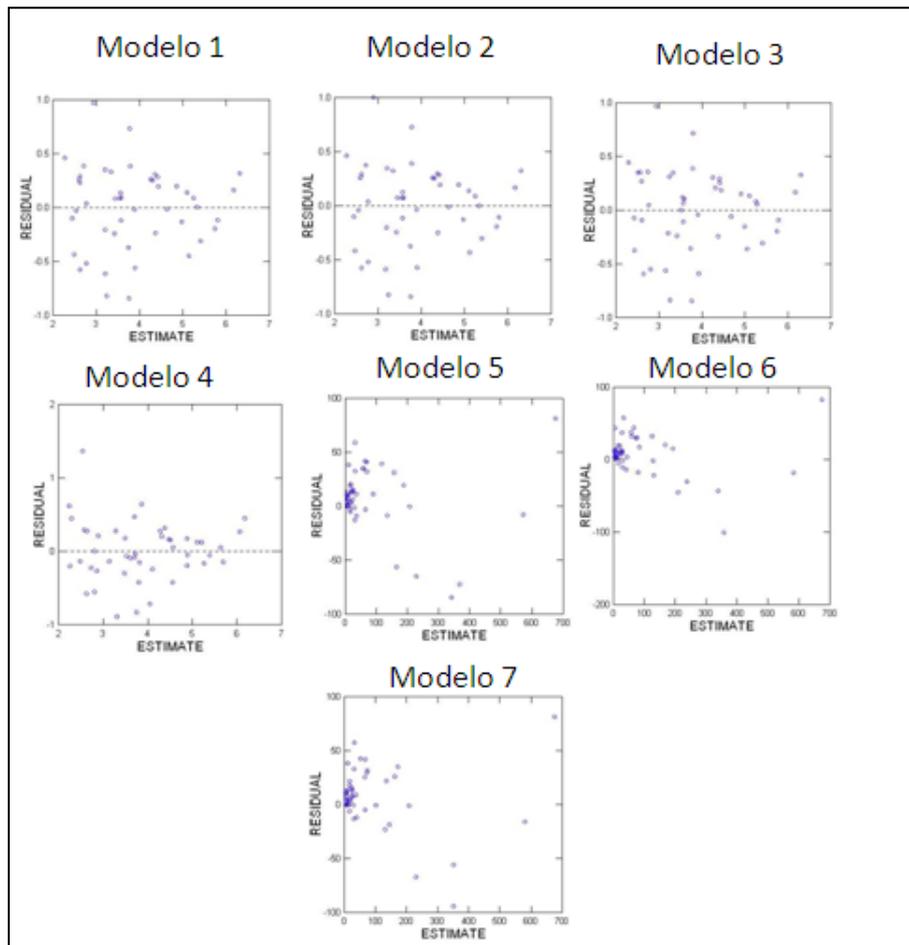


Figura 37 - Distribuição dos resíduos da biomassa de raiz; $DAP \geq 10$ cm (n=47)

O mesmo padrão para biomassa acima do solo ocorreu para as raízes das árvores adultas. Os modelos exponenciais apresentam melhores erros e coeficientes de determinação, no entanto, a distribuição dos resíduos faz com que não sejam indicadas como as melhores. Novamente, para essa classe de diâmetro, as equações indicadas são as logarítmicas de simples entrada (DAP) e dupla entrada (DAP e HT).

5.4.4. Biomassa de copa utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm (n=100).

Tabela 22 - Equações da biomassa de copa para árvores de DAP ≥ 5 cm.

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{\text{copa}} = -3,235 + 2,735 * \ln DAP$	-3,235	2,735	-	10,33	0,88
2	$\ln PF_{\text{copa}} = -2,974 + 2,825 * \ln DAP - 0,176 * \ln HT$	-2,974	2,825	-0,176	10,27	0,88
3	$\ln PF_{\text{copa}} = -2,942 + 3,385 * \ln DAP - 1,300 * \ln HC$	-1,942	3,385	-1,300	7,54	0,91
4	$\ln PF_{\text{copa}} = -4,754 + 1,075 * \ln DAP^2 HT$	-4,754	1,075	-	12,03	0,87
5	$PF_{\text{copa}} = 0,017 * DAP^{3,012}$	0,017	3,012	-	8,87	0,88
7	$PF_{\text{copa}} = 0,086 * DAP^{3,493} * HC^{-1,276}$	0,086	3,493	-1,276	7,31	0,91

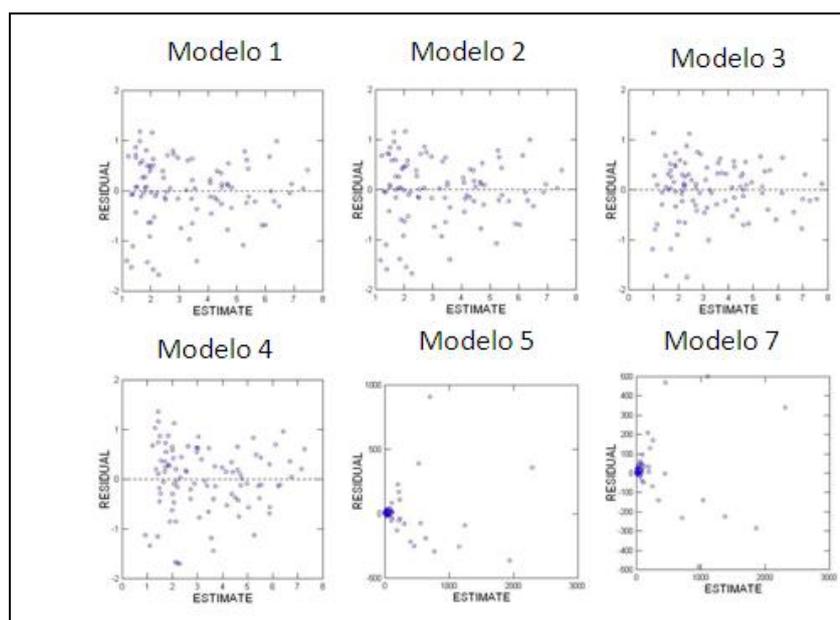


Figura 38 - Distribuição dos resíduos da biomassa de copa; DAP ≥ 5 cm (n=100)

A biomassa de copa é referente às folhas, galhos finos e galhos grossos. A estimativa da biomassa deste compartimento é importante, entre outros motivos, para estimar o quanto foi emitido de carbono após uma queimada. Folhas e galhos são os primeiros a serem consumidos pelo fogo. No manejo florestal, geralmente o produto de interesse é a madeira, as outras partes das árvores, como a copa, são deixados na floresta. Neste caso, é importante estimar a biomassa da copa para saber o quanto de carbono e nutrientes fica na floresta para reciclagem após a exploração.

Dos dois modelos de simples entrada, um teve erro um pouco acima do limite (10,33 %) e o outro teve uma péssima distribuição de resíduos, sendo mais indicado utilizar o primeiro modelo. Das equações de dupla entrada, o que teve melhor ajuste foi o logarítmico que tem como variáveis independentes o DAP e a altura comercial (modelo 3) de dupla entrada (DAP e HC), que teve bons parâmetros.

5.4.5. Biomassa de tronco utilizando árvores com DAP maior ou igual a 5 cm (n=100).

Tabela 23 - Equações da biomassa de tronco para árvores de DAP ≥ 5 cm.

Modelo	Equação	β_1	β_2	β_3	Sxy%	R ²
1	$\ln PF_{\text{tronco}} = -1,781 + 2,504 * \ln DAP$	-1,781	2,504	-	4,52	0,97
2	$\ln PF_{\text{tronco}} = -2,684 + 2,18 * \ln DAP + 0,621 * \ln HT$	-2,684	2,180	0,621	3,83	0,98
3	$\ln PF_{\text{tronco}} = -2,48 + 2,149 * \ln DAP + 0,706 * \ln HT$	-2,480	2,149	0,706	3,44	0,99
4	$\ln PF_{\text{tronco}} = -3,195 + 0,989 * \ln DAP^2 HT$	-3,195	0,989	-	3,82	0,98
5	$PF_{\text{tronco}} = 0,258 * DAP^{2,368}$	0,258	2,368	-	4,11	0,96
6	$PF_{\text{tronco}} = 0,021 * DAP^{1,987} * HT^{1,193}$	0,021	1,987	1,193	3,73	0,97
7	$PF_{\text{tronco}} = 0,051 * DAP^{2,215} * HC^{0,818}$	0,051	2,215	0,818	3,25	0,97

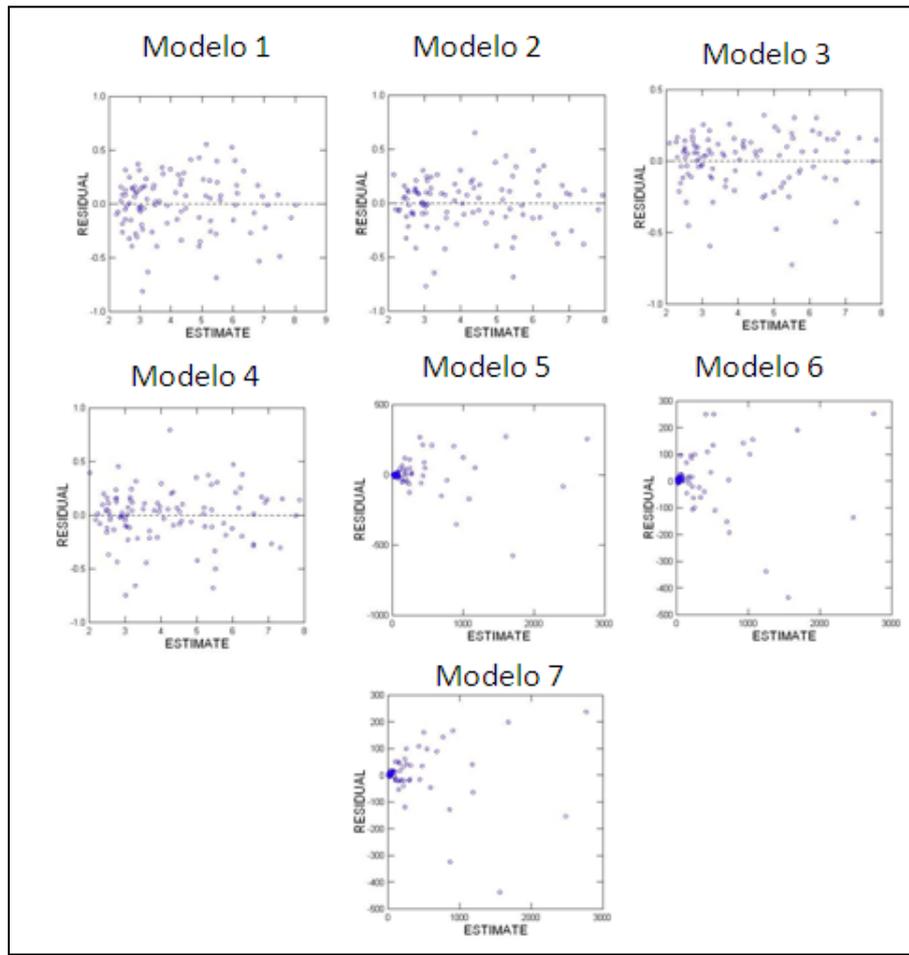


Figura 39- Distribuição dos resíduos da biomassa de tronco; DAP \geq 5cm (n=100)

A biomassa de troncos pode ser estimada para saber o quanto foi retirado de nutrientes e carbono com a exploração florestal. As quatro equações logarítmicas tiveram todos os parâmetros dentro do que foi estipulado e assim, qualquer uma pode ser utilizada para se estimar a biomassa do fuste das árvores acima de cinco centímetros de DAP.

5.5. Discussão geral sobre os modelos

Todas as categorias tiveram equações aptas a serem utilizadas na estimativa da biomassa. Apesar de terem um maior número de indivíduos coletados, as árvores da regeneração natural apresentaram coeficiente de determinação menor e erro maior que as árvores adultas (DAP \geq 10 cm). Isso indica que essas árvores ainda não possuem um padrão

tão bem definido e que para esta classe de tamanho ainda seria necessário testar outras variáveis além do DAP e altura. Quanto à divisão em classes diamétricas, ficou claro que é melhor estimar a biomassa usando uma equação geral para todas as classes, a não ser que se precise trabalhar com uma classe específica.

A escolha da melhor equação é feita por quem vai utilizá-la, no entanto, é bom ressaltar que além dos três parâmetros citados neste trabalho (R^2 , $S_{xy\%}$ e distribuição dos resíduos), deve-se considerar também o aumento de tempo e custos dos inventários com a inserção de mais de uma variável independente. Zianis e Mecunccini (2004) afirmam que na maioria dos casos, a biomassa é altamente explicada utilizando-se somente o DAP. Higuchi *et al.* (2004) citam que, acrescentando mais variáveis independentes, como a altura total (H), o modelo alométrico melhora apenas em 2% quando comparado ao modelo que utiliza apenas o diâmetro a altura do peito.

Além disso, muitas vezes quando a altura é simplesmente estimada, o benefício que se obteria com o menor erro é anulado por erros não amostrais. Modelos com a altura comercial podem ser escolhidos, pois, esta medida é mais fácil de ser mensurada no campo, apesar de não ser um indicador biológico como a altura total que indica o sítio (Silva 2007).

As equações obtidas neste trabalho podem ajudar na melhoria das estimativas de biomassa em escala nacional, ou categoria 1 do IPCC. Em um ecossistema de campina - campinarana, por exemplo, pode-se utilizar a equação de Barbosa e Ferreira (2004) para estimar a biomassa aérea das campinas e as equações desenvolvidas neste estudo para as campinaranas.

- BAS campinas:

$$\ln\text{PFBAS} = -3,9041 + 0,4658 * \ln(\text{Cb}^2 * \text{HT}) + c * (\ln(\text{Cb}^2 * \text{HT}))^2 \quad (R = 0,928; S_{xy} = 0,306).$$

Onde: Cb = circunferência da base

- BAS campinaranas:

$$\ln\text{PFBAS} = -1,553 + 2,567 * \ln\text{DAP} \quad (R^2 = 0,98; S_{xy\%} = 4,27)$$

5.6. Comparação dos modelos da floresta primária densa e campinarana da ZF-2

A biomassa da campinarana foi estimada utilizando os modelos desenvolvidos por Silva (2007) para floresta densa. Para tanto, foram inseridas nessas equações os DAPs das 100 árvores abatidas neste estudo. Pretendeu-se com isso avaliar se o erro gerado seria aceitável.

Os erros calculados utilizando-se as melhores equações de simples entrada para biomassa acima do solo (BAS), biomassa total (Btotal) e biomassa de raízes (Braiz) de campinaranas e da floresta densa estão na Tabela 24.

Tabela 24 - Comparação de erros ($S_{xy\%}$) das equações deste estudo com as de Silva (2007).

DAP \geq 5cm	Floresta densa	Sxy%	Campinarana	Sxy%	Diferença
Equação BAS	PF = 2,2737*DAP ^{1,9156}	6,3	LnPF = -1,553 + 2,567 * LnDAP	4,27	-2,03
Equação Braiz	PF = 0,0469*DAP ^{2,4754}	7,9	LnPF = -3,268 + 2,428 * LnDAP	6,5	-1,4
Equação Btotal	PF = 2,7179*DAP ^{1,8774}	6,7	LnPF = -1,373 + 2,546 * LnDAP	4,2	-2,5

As equações desenvolvidas por Silva (2007) geraram bons resultados com erros levemente superiores aos gerados pelas equações deste estudo. Isto indica que equações desenvolvidas para floresta densa podem ser utilizadas para as campinaranas adjacentes. Foi testado também se o erro diminuiria com a multiplicação das equações de Silva (2007) por um fator de correção da estimativa, calculado com base na altura dominante (H_{dom}), conforme a equação:

$$\text{Fator de correção} = \frac{H_{dom\ Camp}}{H_{dom\ FPD}}$$

O fator de correção calculado por essa equação foi igual a 0,924. As equações corrigidas e os erros associados estão na Tabela 25.

Tabela 25- Erros das equações de Silva (2007) e das mesmas equações corrigidas pela altura dominante.

DAP \geq 5cm	Campinarana	Sxy%	Equação com Hdom	Sxy%	Diferença
Equação BAS	$\text{LnPF} = -1,553 + 2,567 * \text{LnDAP}$	4,27	$\text{PF} = (2,2737 * \text{DAP}^{1,9156}) * 0,924$	6,5	2,23
Equação Braíz	$\text{LnPF} = -3,268 + 2,428 * \text{LnDAP}$	6,5	$\text{PF} = (0,0469 * \text{DAP}^{2,4754}) * 0,924$	6,4	-0,1
Equação Btotal	$\text{LnPF} = -1,373 + 2,546 * \text{LnDAP}$	4,2	$\text{PF} = (2,7179 * \text{DAP}^{1,8774}) * 0,924$	7,3	3,1

As equações corrigidas pelo fator de correção geraram erros superiores ao modelo original de biomassa total e biomassa acima do solo. O erro apenas diminuiu para biomassa de raízes. A altura dominante é uma medida biológica que indica as diferentes qualidades dos ambientes. Por isso, a correção de estimativas de biomassa para diferentes sítios e fitofisionomias, utilizando a altura dominante, possui grande potencial e necessita de maiores estudos. Neste caso, observou-se que o uso deste fator não alterou de maneira consistente o valor do erro calculado.

5.7. Teor de água

Os teores médios de água da parte aérea e de raízes foram bem próximos, sendo iguais a $0,43 \pm 0,007$ (IC 95%) e $0,41 \pm 0,008$ (IC95%). As médias tiveram diferença significativa (ANOVA, $F_{1;964} = 5,5$; $p = 0,019$) (Figura 40)

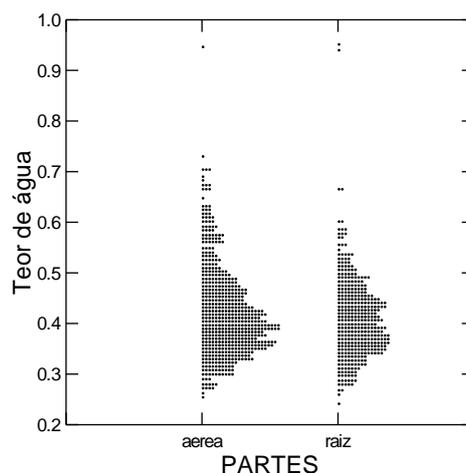


Figura 40- Dispersão de pontos dos teores de água da parte aérea e de raiz

Os teores de água dos compartimentos estão na Tabela 26. O maior teor de água foi o das folhas, com $0,57 \pm 0,02$ (IC 95%), e o menor do tronco com $0,38 \pm 0,01$ (IC 95%). O teor de água dos galhos finos é de $0,44 \pm 0,01$ (IC 95%), e dos galhos grossos é de $0,40 \pm 0,01$ (IC 95%). O teor das raízes menos grossas é $0,46 \pm 0,01$ (IC 95%) e das mais grossas é de $0,40 \pm 0,01$ (IC 95%). Todas as incertezas ficaram abaixo de 10%, sendo a mais alta igual a 3,6%.

Tabela 26 - Teor de água dos compartimentos das árvores.

	F	GF	GG	T	RMeG	RMaG
n	95	100	81	297	99	294
Média	0,57	0,44	0,40	0,38	0,46	0,40
Desv pad	0,08	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08
IC 95%	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Incerteza (%)	3,60	2,43	1,83	0,93	2,38	1,54

Onde: F=folha; GF= galho fino; GG=galho grosso; T=tronco; RMeG= raiz menos grossa; RMaG=raiz mais grossa.

A diferença dos teores de água entre todos compartimentos foi altamente significativa (ANOVA, $F_{5;960} = 129,8$; $p < 0,0001$) (Figura 41). Pelo teste de Tukey, no nível de 5% de

probabilidade, foi possível avaliar que somente não houve diferença significativa entre galhos finos e raízes finas, entre galhos grossos e raízes grossas, troncos e galhos grossos e troncos e raízes grossas.

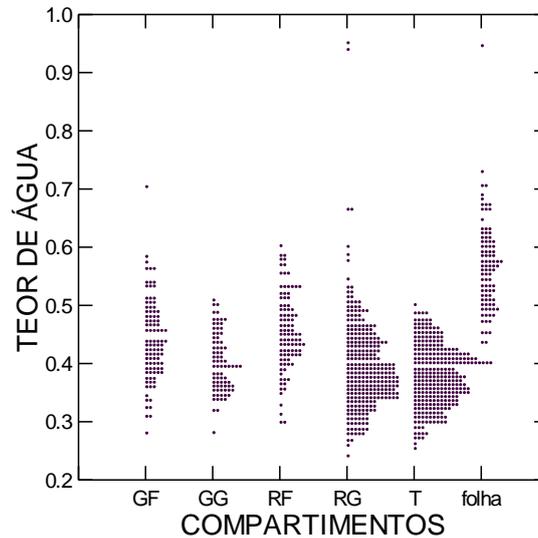


Figura 41 - Gráfico de dispersão de pontos dos teores de água dos compartimentos das árvores.

Para saber se há diferença dos teores em diferentes alturas do tronco, galho grosso e raiz mais grossa foram retirados três discos a 0%, 50% e 100% do comprimento total de cada um deles. Para galhos grossos não houve diferença significativa entre as diferentes alturas. Significa que apenas um disco seria suficiente para se obter o teor de umidade. A diferença foi significativa quando se comparou as três alturas do tronco e das raízes mais grossas. No entanto, o teste de Tukey mostrou que essa diferença ocorre somente entre T0% e T100%. Significa que apenas dois discos do tronco, um na base e outro no topo do fuste seria suficiente na obtenção do teor de água (Figura 42).

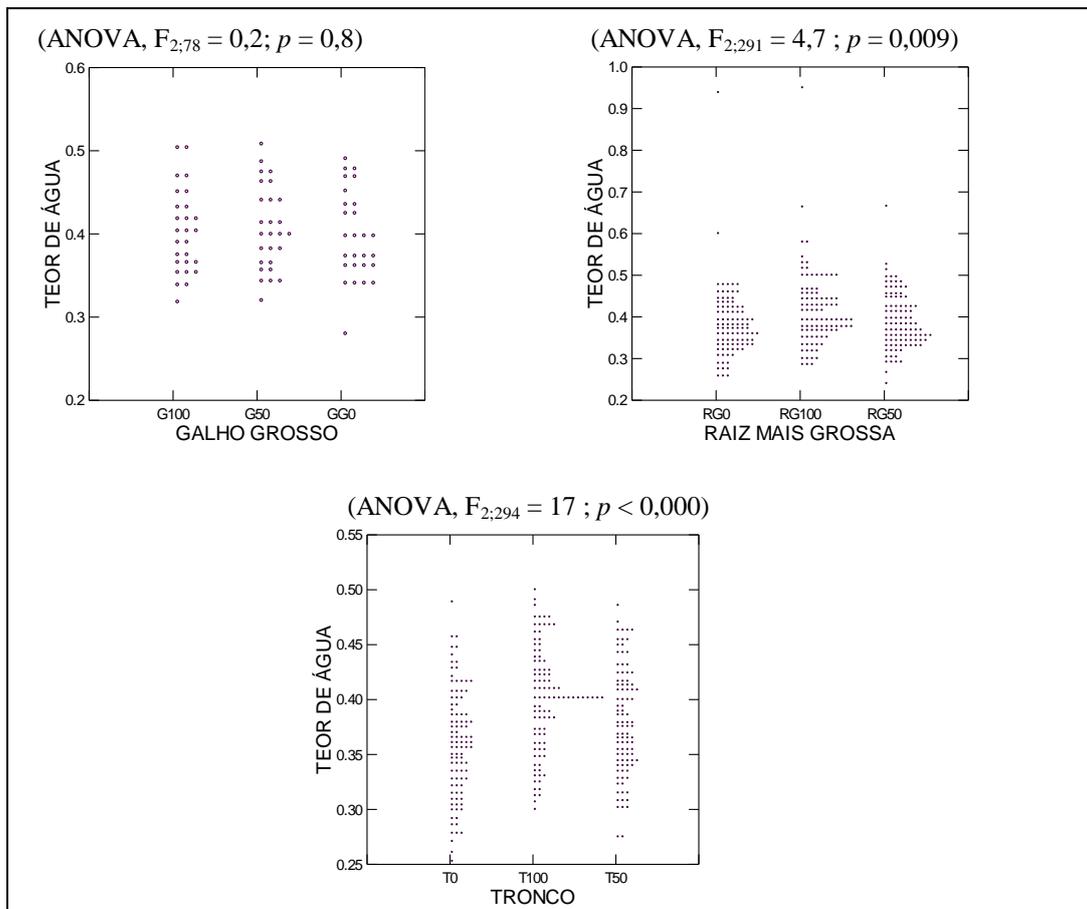


Figura 42 - Gráfico de dispersão de pontos das diferentes alturas do galho grosso, raiz mais grossa e tronco e valores das análises de variância (ANOVA).

5.8. Teor de carbono e razão C/N

O teor de carbono médio da biomassa seca encontrado para as árvores da campinarana foi de $47,5\% \pm 0,2$ (IC95%). A parte acima do solo teve média de $47,7\% \pm 0,3$ (IC 95%) e as raízes $47\% \pm 0,07$ (IC 95%). O teor de carbono entre os diferentes compartimentos das árvores variou pouco. O maior teor encontrado foi o das folhas de $51,5\% \pm 1,1$ (IC 95%) e o menor teor foi para o tronco, com $45,8\% \pm 0,4$ (IC95%) As incertezas associadas às médias também foram muito baixas, sendo a máxima de 2,2% (Tabela 27). A diferença dos teores de carbono entre os compartimentos foi altamente significativa (Figura 43).

O teste de Tukey, no nível de 5 % de probabilidade, revelou que a diferença de carbono entre os compartimentos ocorreu, principalmente, pelo maior conteúdo de carbono nas folhas. Todos os compartimentos (raízes, troncos e galhos) diferiram significativamente das folhas ($p < 0,000$). Fora isso, somente houve diferença significativa entre as raízes mais grossa e os troncos ($p=0,04$).

Tabela 27 - Teores de carbono (%) para diferentes compartimentos das árvores.

CARBONO (%)						
	Folhas	Tronco	GG	GF	RMaG	RMeG
N	50	50	16	50	50	50
MEDIA	51,5	45,8	46,7	46,9	47,3	46,8
DESV PAD	4,1	1,4	0,6	1,1	3,1	2,4
IC (95%)	1,1	0,4	0,3	0,3	0,9	0,7
INCERTEZA (%)	2,2	0,9	0,7	0,7	1,8	1,4

Onde: GG= galhos grossos; GF= galhos finos; RMaG= raízes mais grossas e RMeG = raízes menos grossas.

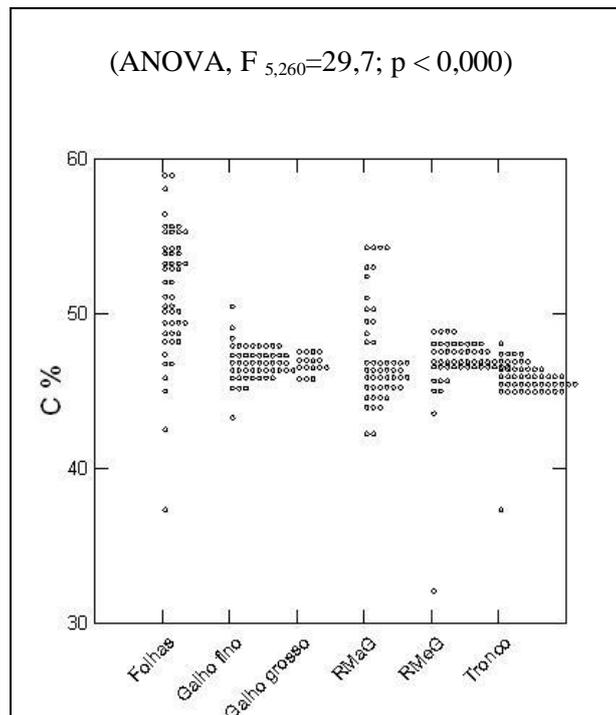


Figura 43 - Gráfico de distribuição de pontos dos teores de carbono (%) em diferentes compartimentos das árvores da campinarana

Os valores de carbono encontrados neste trabalho são bem próximos aos encontrados na literatura. Philips *et al.* (1998) utilizaram em seu trabalho o valor médio de carbono de 48% da massa seca. O IPCC (2003) define que o teor de carbono da vegetação pode ser considerado como 50% da biomassa seca.

Quanto mais carbono em relação ao nitrogênio na planta, mais lenta é a sua decomposição. A menor razão C/N foi das folhas de $30,8 \pm 2,2$ (IC 95%) e a maior foi a do tronco de $161,3 \pm 20,1$ (IC 95%). A diferença entre os compartimentos foi altamente significativa (Figura 44). Já era esperado esse resultado, já que no campo é possível observar que troncos e galhos grossos permanecem muito tempo no solo e folhas e materiais mais finos são decompostos mais rapidamente.

Tabela 28 - Razão C/N dos compartimentos das árvores da campinarana.

	RAZÃO C/N					
	Folhas	Tronco	GG	GF	RMaG	RMeG
n	50	50	15	50	50	50
MEDIA	30,8	161,3	144,6	90,7	134,7	97,7
DESV PAD	8,0	72,7	57,2	47,8	58,9	41,5
IC (95%)	2,2	20,1	28,0	13,3	16,3	11,5
INCERTEZA (%)	7,3	12,5	19,4	14,6	12,1	11,8

Onde: GG= galhos grossos; GF= galhos finos; RMaG= raízes mais grossas e RMeG = raízes menos grossas.

ANOVA $F_{5,260} = 39,6$ $p < 0,000$.

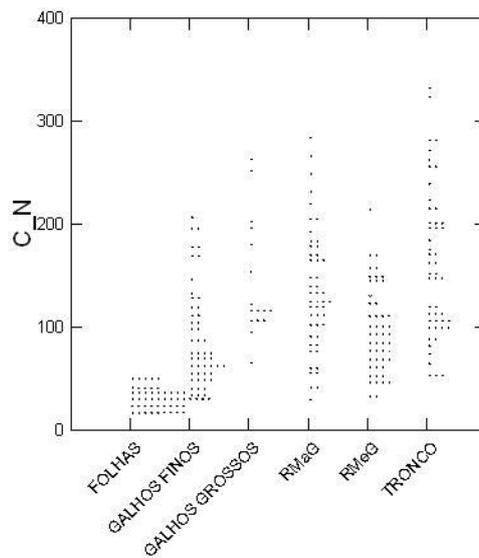


Figura 44 - Gráfico da dispersão de pontos da relação C/N.

Nardoto (2005) estudou a razão C/N de folhas de árvores da mesma campinarana deste estudo, no entanto, as espécies leguminosas (L) foram analisadas separadamente das não-leguminosas (NL). O valor médio encontrado pela autora foi de 21,2 e 32,8, respectivamente. O mesmo trabalho verificou a relação C/N nas áreas de platô e baixio da floresta densa da EEST. Nos platôs, a razão C/N das folhas foi de 23,2 para L e 26,4 para NL. Nos baixios foi de 29,4 para L e 36,1 para NL. Esses resultados justificam o que se pode observar empiricamente, que é o maior acúmulo de serapilheira em campinaranas e em baixios que nos platôs de florestas densas.

Quanto a isso, Vitousek (1982) afirma que a eficiência no uso de N da serapilheira é inversamente proporcional à sua disponibilidade. A campinarana possui mais que o dobro de serapilheira que a campina, (Luizão 1994). No entanto, os dois tipos de vegetação possuem baixa concentração de N foliar e baixa entrada de N via serapilheira em comparação com a floresta densa (Madergan, 2007). Madergan (2007) usou isótopos de ^{15}N para verificar a

eficiência na ciclagem de N. Seu estudo mostrou que há uma maior eficiência no uso de N pelas campinas e campinaranas do que pela floresta densa.

No entanto, Madergan (2007) observou que a campina *sensu stricto* e a campinarana da Reserva da Campina a 62 km de Manaus não apresentaram diferença significativa na concentração foliar de nitrogênio, o valor médio foi de $1,3 \% \pm 0,02$ (IC 95%) e a relação C/N média foi de $40 \pm 0,7$. O estudo também verificou uma grande variação entre espécies leguminosas e demais espécies coletadas.

Tanto a campinarana da reserva da campina a 62 km de Manaus, como a campinarana da EEST a 90 km de Manaus são típicas da Amazônia central, ocorrendo em pequenas ilhas dentro a floresta ombrófila densa. No entanto, divergem quanto ao tipo de solo, profundidade dos carvões encontrados no solo e relação C/N das folhas. Ferreira (2009) observou que as campinaranas vêm avançando lentamente sobre as campinas. Essa observação juntamente ao fato da campinarana da EEST ocorrer desassociada de uma campina *strictu sensu* e as demais diferenças citadas podem indicar que a campinarana da EEST seja mais antiga que a da reserva da campina. No entanto, mais estudos são necessários para entender a diversidade entre campinaranas da Amazônia central.

5.9. Nitrogênio

A quantidade de nitrogênio média da biomassa seca encontrada para as árvores da campinarana foi de $7,0 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,6$ (IC 95%). A parte acima do solo teve média de $8,0 \text{ g.kg}^{-1} \pm 1,0$ (IC 95%) e as raízes $5,0 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,2$ (IC 95%). Assim como o carbono, a maior quantidade de N encontrada foi nas folhas com $17,9 \text{ g.kg}^{-1} \pm 1,4$ (IC 95%) e a menor quantidade encontrada foi nos troncos $3,6 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,5$ (IC 95%) (Tabela 27).

A diferença na quantidade de nitrogênio entre os compartimentos foi altamente significativa (Figura 45). Novamente o teste de Tukey (5% de probabilidade) mostrou que a houve diferença significativa entre as folhas e os demais compartimentos das árvores.

Tabela 29 – Quantidade de nitrogênio (g.kg^{-1}) nos diferentes compartimentos das árvores.

NITROGÊNIO (g.kg^{-1})						
	Folhas	Tronco	GG	GF	RMaG	RMeG
N	50	50	15	50	50	50
MEDIA	17,9	3,6	3,7	6,6	4,4	5,8
DESV PAD	5,1	1,9	1,4	3,2	2,7	2,8
IC (95%)	1,4	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8
INCERTEZA (%)	7,9	14,6	18,2	13,3	17,0	13,2

Onde: GG= galhos grossos; GF= galhos finos; RMaG= raízes mais grossas e RMeG = raízes menos grossas.

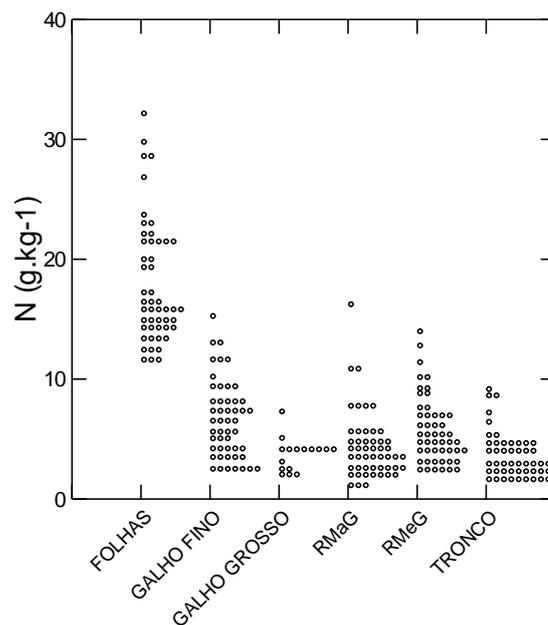


Figura 45 - Gráfico de distribuição de pontos da quantidade de nitrogênio (g.kg^{-1}) em diferentes compartimentos das árvores da campinarana

A quantidade de nitrogênio encontrada nas folhas da Campinarana da EEST ($17,9 \text{ g.kg}^{-1}$

¹⁾ foi maior que da campinarana da reserva da campina encontrada por Madergan (2007) que

foi de $13 \text{ g.kg}^{-1} \pm 0,2$ (IC 95%). No entanto, ainda foi mais baixa do que a quantidade de N foliar encontrada na EEST para o platô da floresta densa que foi de $21,3 \text{ g.kg}^{-1}$ (Nardoto, 2005).

O suprimento de nitrogênio limita a produção primária de plantas em muitos *habitats*. A capacidade bioquímica de fixação de CO_2 requer proteínas que representam grande parte do nitrogênio foliar. Ainda, o nível máximo de absorção de CO_2 , medido em condições favoráveis e níveis normais, é bem correlacionado com a quantidade de nitrogênio em diversas espécies, ao menos que outros fatores, como estresse hídrico, possua influência maior nessa característica (Zotz e Winter, 1994).

A concentração e alocação de nitrogênio também tem grande influência na ecofisiologia sucessional das espécies. O nitrogênio das folhas tem grande correlação com a taxa fotossintética. Isto sugere que espécies com maiores concentrações de nitrogênio possuem uma vantagem competitiva. No entanto, a concentração de nitrogênio também possui correlação com a taxa de respiração, isto significa que altas taxas de nitrogênio em galhos grosso e tronco durante o crescimento pode influenciar pouco na produção fotossintética.

Além disso, durante o período de crescimento, espécies com altas concentrações de N nas folhas e com baixas concentrações de N em galhos grossos e troncos, como é o caso observado neste estudo, possuem um padrão de alocação do N que ajuda as espécies a manterem uma maior produção fotossintética e uma baixa respiração celular em troncos e galhos. Isto ajuda os organismos em maximizar o ganho em carbono ou biomassa. (Martin *et al.*, 1998).

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho confirma que o método direto é ineficiente e demorado para estimar biomassa florestal. Estimativas de biomassa devem, preferencialmente, ser feitas com a

utilização de equações alométricas desenvolvidas para cada sítio ou tipologia florestal. Mesmo assim, o método direto foi importante para definir que 94% da biomassa total da campinarana da EEST é constituída por árvores.

Todas as categorias estabelecidas para o desenvolvimento das equações tiveram resultados em que o erro foi aceitável, ou seja, menor que o limite de 10%. As equações desenvolvidas por Silva (2007) para florestas densas foram utilizadas na estimativa da biomassa da campinarana. Os erros dessa estimativa foram aceitáveis, mostrando que as campinaranas e florestas densas não se diferenciam muito estruturalmente. O uso de um fator de correção baseado na altura dominante não diferenciou substancialmente os erros dessas estimativas.

A massa seca das campinaranas deve ser obtida multiplicando o teor de peso massa seca ao peso massa fresca estimado. Para a biomassa aérea esse teor é 0,44 e para raízes é 0,43. Após obter o peso seco basta multiplicar o teor de carbono de 47,5% para saber a quantidade desse nutriente no peso total.

A razão C/N média foi $110 \pm 5,6$ (IC 95%), sendo que essa relação para as folhas foi significativamente menor do que para outras partes das árvores. Essa razão foi maior do que a encontrada para a floresta densa, isto explica porque o acúmulo de serapilheira nas campinaranas é maior. A quantidade média de nitrogênio foi de $7,0 \text{ g.kg}^{-1}$.

A continuação desse estudo deve constituir na realização de inventários e instalação de parcelas permanentes nas campinaranas. Como resultado espera-se obter um maior conhecimento da dinâmica e ciclagem de nutrientes da fitofisionomia. O conhecimento é uma das principais ferramentas para a valorização e conservação dessa tipologia florestal. Projetos de REDD também podem avançar significativamente com a melhoria das estimativas de estoque e fluxo de carbono na Amazônia.

O pagamento para manter os estoques de carbono mantendo a floresta em pé é uma forma também de conservar o que deve ser a maior riqueza da Amazônia: a biodiversidade. A perda da diversidade biológica constitui o efetivo empobrecimento de brasileiros ainda por nascer (Morán 1990).

7. REFERÊNCIAS

Anderson, A. B.; Prance G. T.; Albuquerque B. W. 1975. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas III. A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA SUFRAMA (Manaus-Caracarái, Km 62). *Acta Amazonica* 5 (3): 225 - 246.

Anderson, A.B. 1981. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, Fairfax, 13: 199-210.

Anderson, J.M & Ingram, J.S.I. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of

Araújo, T. M., Higuchi, N., Carvalho Jr, J.A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain Forest site in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117. 43 - 52.

Barbosa, R. I.; Ferreira, C.A.C. 2004 a. Densidade básica da madeira de um ecossistema de “campina” em Roraima, Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 34(4): 587-591.

Barbosa, R. I.; Ferreira, C.A.C. 2004b. Biomassa acima do solo de um ecossistema de “campina” em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 34 (4): 577-586.

Borges, S. H. 2004. Species poor but distinct: bird assemblages in white sand vegetation in Jaú National Park, Brazilian Amazon. *Ibis* 146: 114 – 124.

Brown, S.; Lugo, A.E. 1992. Biomass of Brazilian Amazonian forests: The need for good science. *Interciencia* 17(4): 201-203.

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

Campos, J C. C., Leite, H. G. 2006. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 2 ed ver e ampl. *Viçosa: Ed. UFV*. 470p.

Carvalho Jr.; Santos, J.M.; Santos, J.C.; Leitão, M.M.; Higuchi, N. 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in Manaus region. *Atmospheric Environment*, 29 (17): 2301-2309.

Chambers, J. Higuchi, N. Teixeira, L.M; Santos, J.; Laurance, S. Trumbore, S. 2004. Response of tree biomass and Wood litter to disturbance in a central Amazon forest. *Oecologia* 141: 596-614.

Chambers, J. Q., Higuchi, N., Tribuzy, E. S., Trumbore, S. E. 2001. Carbon sink for a century: Intact rainforests have a long-term storage capacity. *Nature. Brief communications*, vol. 410.

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

Colleta, L. D.; Nardoto, G.B.; Latansio, S.R.; Rocha, H.R.; Aidar, M.P.M; Ometto, J.P.H.P. 2009. Isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a cerrado ecosystem, Southeastern Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.66, n.4, p.467-475.

Dutschke, R.; Wolf, R. 2007. Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Climate Protection Programme in Developing Countries. Eschborn/Germany. 30p. Disponível em: www.gtz.de. Acesso em: 10 de julho de 2008.

Eiten, G. 1983. Classificação da vegetação do Brasil. *Brasília: Conselho Nacional Científico e Tecnológico, Coordenação Editorial*. 305p.

EMBRAPA. 1999. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa. 412p.

Endo, W. 2005. *Campinarana e Índios Baniwa: Influências ambientais e culturais sobre a comunidade de vertebrados terrestres no Alto Rio Negro, AM*. Manaus: INPA/UFAM. Dissertação de Mestrado, INPA/UFAM. 108 p.

Enquist, B. J. *et al.*. 2002. Partitioning in Seed Plants Global Allocation Rules for Patterns of Biomass. *Science* 295, 1517

Fearnside, P. 2004. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje*, vol. 34, nº 203.

Fearnside, P.M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazonia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciencia* 17(1): 19-27.

Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35(3): 321-360.

Ferraz, J.; Ohta, S.; Sales, P.C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). *In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. dos (Eds). Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia*. INPA. Manaus-AM. 111-114.

Ferreira, C.A.C. 1997. *Varição Florística e Fisionômica da Vegetação de Transição Campina, Campinara e Floresta de Terra Firme, Manaus (AM)*. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas, UFRPE, Recife, Pernambuco. 112 p.

Ferreira, C.A.C. 2009. *Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema campina na Amazônia brasileira*. Tese (doutorado), INPA, Manaus – Amazonas. 277p.

Fundo Amazônia. 2009. Disponível em : www.fundoamazonia.gov.br. Acesso em: 20 de novembro de 2009.

Galloway, J.N.; Dentener, F.J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R.W., Seitzinger, G.P., Asner, G.P., Cleveland, C.C., Green, P.A. Holland, E.A., Karl, D.M., Michaels, A.F., Porter, J.H., Townsend, A.R., Vörösmarty, C.J. 2004. Nitrogen cycles: past, present and future. *Biogeochemistry*. 70:153-226.

Gibbs, H.; K. Brown, S. Niles, J.; Foley, J.A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environment Research Letters*. 13p.

Higuchi, F.G. 2007. *A influência do tamanho da parcela na precisão da função de distribuição de diâmetro de Weibull da floresta primária da Amazônia Central*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Engenharia Florestal. Curitiba- PR. 50p.

Higuchi, M. I. G e Higuchi, N. 2004. A Floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental. *Manaus: INPA: CNPq*. 146p.

Higuchi, N., Carvalho Jr, J. 1994. A. Fitomassa e conteúdo de Carbono de Espécies Arbóreas da Amazônia: *Anais do Seminário "Emissão x Sequestro de CO₂ - Uma nova oportunidade para o Brasil"*.127-153.

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

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

Higuchi, N.; Pereira, H.S.; Santos, J.; Lima, A.J.N.; Higuchi, F.G.; Higuchi, M.I.G.; Ayres, I.G.S. 2009. Governos locais amazônicos e as questões climáticas globais. *Manaus: edição dos autores*. 104p.

Houghton, R.A. 1990. The future role of tropical forests in affecting the CO² concentration of the atmosphere. *Ambio* 19(4):204-209.

Houghton, R.A., Skole, D.L; Nobre, C.A., Hackler, J.L.; Lawrance, K.T, Chomentowsku, W.H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* 403, 301-304.

IBGE. 2008. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 de outubro de 2008.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2009. Disponível em: www.inpe.gov.br . Acesso em: 19 de novembro de 2009.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Disponível em: www.ipcc.ch. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

- Janssen, B.H. Nitrogen mineralization in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant and Soil*. 181: 39-45, 1996.
- Klinge, H., Medina, E. 1979. Rio Negro Caatingas and Campinas, Amazon States of Venezuela and Brazil. In: Headthlands and related shrublands of the world. Descriptive studies. Chap. 22. Edited by R.L SPECHT. Amsterdam. Elsevier Scientific pub: 483-488.
- Klinge, H., Medina, E., Herrera, R. 1977. Studies on the Ecology of Amazon Caatinga Forest in southern Venezuela. *Acta Cient. Venezolana* 28 (4): 270 -76.
- Klinge, H.; Herrera, R. 1978. Biomass studies in Amazon Caatinga Forest in Southern Venezuela. 1. Standing crop of composite root mass in selected stands. *Tropical Ecology*. vol. 19. n.1.: 93 – 109.
- Klinge, H.; Herrera, R.. 1983. Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela: The Tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetatio* 53: 65-84.
- Lisbôa, P. L. 1975. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas – II. Observações gerais e revisão bibliográfica sobre as campinas amazônicas de areia branca. *Acta Amazonica* 5 (3): 211 – 223.
- Luizão, F. J.; Luizão, E.R., Proctor, J. 2007. Soil acidity and nutrient deficiency in central Amazonian heath forest soils. *Plant Ecol*. 192:209–224
- Madegan, S.F. 2007. *Abundância Natural de 15N em Solos e Folhas de Áreas de Campina e Campinarana da Reserva Biológica da Campina – INPA, Região de Manaus, Amazonas*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação da Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 75 p.
- Magalhães, L.M.S; Blum, W.E.H., Higuchi, N., Santos, J. 1998. Relações entre o solo e a floresta no estabelecimento de unidades de paisagens florestais na Amazônia. *Floresta e Ambiente*. Vol. 5 (1): 89-103.
- Magnusson, W.E.; Mourão, G.M.M. 2005. Estatística sem matemática. Londrina: editora Planta. 138p.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Nobre, C.A. Climate change, deforestation and the fate of the Amazon, *Science*, 2008.
- Martin, J.G; Kloeppel, B.D., Schaefer, T.L.; Kimbler, D.L.; McNulty, S.G. Aboveground biomass and nitrogen allocation of ten deciduous southern Appalachian tree species. *Can. J. For. Res.* 28: 1648 – 1659.
- Martinelli, L.A.; Piccolo, M.C.; Townsend, A.R.; Vitousek, P.M.; Cuevas, E. McDowell, W.; Robertson, O.C.; Santos, O.C.; Treseder, K. 1999. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. *Biogeochemistry*. 46: 45 – 65.
- Mc Mahon, T. 1973. Size and Shape in Biology. Elastic criteria limits on biological proportions, and consequently on metabolic rates. *Science*. vol 179: 1201-1204.

- Medina, E. García, V., Cuevas, E. 1990. Slerophylly and Oligotrophic Environments: Relationships between leaf structure, mineral nutrient content, and drought resistance in Tropical Rain Forests of the Upper Rio Negro region. *Biotropica* 22(1): 51- 64.
- Meirelles Filho, J. C. 2006. Livro de ouro da Amazônia. 5 ed. Rio de Janeiro: *Ediouro*. 442p.Methods. *CAB International*, Wallingford. 221p.
- Morán, E.F. 1990. A ecologia humana das populações da Amazônia. *Petrópolis, RJ: Vozes*. 367p.
- Moutinho, P.; Schwartzman, S. 2005. Tropical Deforestation and Climate Change. Belém – PA. *IPAM*; Washington DC: Environmental Defense.
- Nardoto, G. 2005. *Abundância natural de ¹⁵N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio*. Tese de doutorado. ESALQ/USP. Piracicaba-SP.100p.
- Nascimento, H. E. E., Laurence, W. F. 2002. Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape-scale study. *Forest Ecology and Management*, 168. 311–321.
- Nelson, B. W. ; Mesquita, R.C ; Pereira, J.L.G. ; Souza, S. ; Batista, G.T. ; Couto, L.B. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central amazon. *Forest Ecology and Management*, AMSTERDAM, v. 117, p. 149-167, 1999.
- Niklas, K. J. 1994. Plant allometry: the scaling of form and process. *The University of Chicago Press*, Chicago. 395 p.
- Niklas, K.J.; Enquist, B.J. 2001. Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. vol 98, n 5 :2922-2977.
- Noronha, M.C. 2003. Geoespaço: o espaço geográfico do Amazonas. *Editores Concorde*. Manaus, AM. 256 p.
- Overman, J. P. M; Witte, H. J. L. Saldarriaga, J. G. 1994. Evaluation of regression models for above-ground biomass determination in Amazonia rainforest. *Forest Ecology and Management*, v.10: 207-218.
- Parresol, B.R. 1999. Assessing trees and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. *For.sci.*45(4): 573-593.
- Parron, L.M; Bustamante, M.M.C; Camargo, P.B. Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma mata de galeria: efeito do gradiente topográfico. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento* 127. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados. 24p.
- Pinto, A. C. M., Higuchi, N., Iida, S., Santos, J., Ribeiro, R.J., Rocha, R.M., Silva, R.P. 2003. Padrão de distribuição espacial de espécies florestais que ocorrem na região de Manaus-AM. In: Projeto Jacarandá Fase II. Pesquisas Florestais na Amazônia Central. Org. Higuchi *et al.*. *Manaus: CPST/INPA*. p. 01 - 20.

Pinto, F.R. 2008. *Estimativa dos estoques de biomassa e nutrientes em florestas secundárias na Amazônia Central*. Dissertação de mestrado. Manaus: INPA / UFAM. 162 p.

Philips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Nunes, P.V.; Vásquez, R.M.; Laurance, S.G.; Ferreira, L.V.; Stern, M.; Brown, S. e Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282 (5388): 439 – 442.

Prance, G.T. 1975. Estudos sobre a vegetação das Campinaranas – I. Introdução a uma série de publicações sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. *Acta Amazonica* 5 (3): 211 – 223.

Prance G.T. e Schubart, H.O.R. 1978. Notes on the Vegetation of Amazonia I. A Preliminary Note on the Origin of the Open White Sand Campinas of the Lower Rio Negro. *Brittonia*. 30 (1): 60-63 p.

Prance, G.T. 1992. The Diversity of the Amazon Flora. Royal Institution Proceedings 64: 169–195.

Ribeiro, J.L.M.S.; Hopkins, M.J.G; Vicentique, 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.F.; 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. Manaus. *INPA*.

Rodrigues, W. A. 1961. Aspecto fitossociológico das *caatingas* do rio Negro. *Boletim do Museu Goeldi*. Nova Série Botânica, Belém. 15: 1-140.

Santos, C.P.F., Valles, G.F., Sestini, M. F., Hoffman, P. , Dousseau, S.L., Mello, H.J. 2007. Mapeamento dos Remanescentes e Ocupação Antrópica no Bioma Amazônia *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6941-6948.

Santos, J. 1996. *Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 120pp

Santos, J.; Neto, F.P.; Higuchi, N.; Leite, H.G.; Souza, A.L.; Vale, A.B. 2001. Modelos estatísticos para estimar a fitomassa acima do nível do solo da floresta tropical úmida da Amazônia central. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, n.4: 445-454.

Scolforo, J. R. S. 1996. Biometria florestal 2: Técnica de regressão aplicada para estimar volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. *Lavras: UFLA/FAEPE*. 292p.

Silva, L.C.R. ; Sternberg, L.; Haridasan, M; Hoffmann , W.A.; Miralles, F; Wilhelm; Franco, A. 2008. Expansion of gallery forests into central Brazilian Savannas. *Global Change Biology* 14, 2108–2118.

SILVA, R.P. 2007. *Alometria, Estoque e Dinâmica da Biomassa de Florestas Primárias e Secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese (doutorado). INPA / UFAM. Manaus. 152p.

- Silva, R.P., Santos J., Tribuzy, E.S., Chambers, J.Q., Nakamura, S., Higuchi, N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual trees in Central Amazon, Brazil. *Forest ecology and management*. 116:295-301.
- Stern, N.H. 2006. The economics of climate change: The Stern review. VI: International Collective Action. Capítulo 25: Reversing Emissions from Land Use Change. *Treasury. Cambridge*. Great Britain: 537 – 553.
- Takeuchi, M.A. 1960. A estrutura da vegetação na Amazônia III. A mata da campina na região do rio Negro. Botânica. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi*. 8:1-13
- Takeuchi, M.A. 1961. A estrutura da vegetação da Amazônia III. A mata de campina na região do rio Negro. *Boletim do Museu Goeldi. Nova Série Botânica*, Belém. 8: 1-13.
- Teixeira, L. M, Chambers, J.Q.; Silva, A. R., Lima, A.; Carneiro, V.M; Santos, J., Higuchi, N. 2007. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. *Acta Amazonica* vol. 37, no. 32008-10-22. p. 377-384
- Teixeira, M.A.; Murray, M.L.; Carvalho, M.G. 2006). Assessment of land use and land use change and forestry (LULUCF) as CDM projects in Brazil. *Ecological Economics*. 60: 260-270.
- Uhl, C. ; Buschbacher,R.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76, 663-681.
- UN-REDD Programme (The United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries). Disponível em: www.un-redd.org. Acesso em 22 de novembro de 2009.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L., Lima, J. C. A. 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: *IBGE*. 124 p.
- Veloso, H. P.1992 Sistema fitogeográfico. In: IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro. Série Manuais Técnicos em Geociências, *IBGE*. 92p.
- West, G. B., Brown, J. H. & Enquist, B. J. (1999). *Nature*. 400, 664–667.
- Whitmore, T.C. e G.T. Prance 1987. Biogeography and Quaternary history in tropical America. *Clarendon Press*, Oxford.
- Zianis, D.; Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187: 311-332.
- Zotz, G.; Winter, K. 1994. Predicting annual carbon balance from leaf nitrogen. *Naturwissenschaften* 81, 449.