

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
Programa de Pós Graduação em Botânica (PPG Botânica)

ESTIMATIVAS DA DINÂMICA DE CARBONO NA BIOMASSA LENHOSA DE
TERRA FIRME NA RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL AMANÃ
POR MÉTODOS DENDROCRONOLÓGICOS

CHRISTIANE LOPES DE OLIVEIRA

Manaus, Amazonas
Fevereiro, 2010

CHRISTIANE LOPES DE OLIVEIRA

ESTIMATIVAS DA DINÂMICA DE CARBONO NA BIOMASSA LENHOSA DE
TERRA FIRME NA RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL AMANÃ
POR MÉTODOS DENDROCRONOLÓGICOS

ORIENTADOR: Dr. JOCHEN SCHÖNGART

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação do INPA como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica.

Manaus, Amazonas
Fevereiro, 2010

O48 Oliveira, Christiane Lopes de
Estimativas da dinâmica de carbono na biomassa lenhosa de terra-firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã por métodos dendrocronológicos / Christiane Lopes de Oliveira.--- Manaus : [s.n.], 2009. xi, 53 f. : il. color.

Dissertação(mestrado)-- INPA, Manaus, 2009
Orientador : Jochen Schöngart
Área de concentração : Morfologia e Anatomia Vegetal

1. Dendrocronologia. 2. Dinâmica do carbono. 3. Florestas de terra firme.
4. Biomassa. I. Título.

CDD 19. ed. 582.16

Sinopse:

Estudou-se o estoque, o seqüestro e o tempo de residência do carbono na biomassa lenhosa acima do solo em florestas de terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã, Amazônia Central. As estimativas de estoque de carbono foram feitas através de três modelos alométricos. O seqüestro de carbono foi realizado através de anéis de crescimento, formados anualmente devido à precipitação sazonal. Os dados obtidos são comparando com florestas alagáveis de várzea e igapó e terra firme

Palavras-chave:Florestas alagáveis, dendrocronologia, dinâmica florestal, árvores, idade, crescimento radial, densidade da madeira.

À Minha Família

Agradecimento

A Deus criador, porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. “Tu me cercaste por detrás e por diante, e puseste sobre mim a tua mão. Tal ciência é para mim maravilhosíssima; tão alta que não posso atingir”. Salmo 139: 5-6.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), por disponibilizar a estrutura necessária para minha formação profissional; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo; e ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (FEPIM 044/2003) e Projeto INPA/Max-Planck, pelo financiamento e logística.

Ao Dr. Jochen Schöngart, por me orientar sem eu anteriormente nunca ter tido a experiência de trabalhar com dendrocronologia. Pela paciência, tolerância e profissionalismo para lidar comigo, quando eu muitas vezes insistia no erro.

Ao Dr. Florian Wittmann, por se disponibilizar a discutir comigo os resultados acrescentando sua experiência e opinião profissional.

À Helcineide Andrade, Giselle Marques e Jéssica, pela amizade e assistência que tanto facilitaram a vida burocrática dentro do INPA.

À Helcineide Andrade e Adriana Mari, pelo incentivo, estímulo e convite para ingressar neste Curso.

À Kathllem Samira, Joneide Brito e Keila Rêgo pelo companheirismo e fraternidade nos momentos mais difíceis que passei nesses dois últimos anos.

Aos demais colegas da Pós-Graduação em Botânica, pela troca de experiências e amizade.

Aos integrantes do Projeto INPA/Max-Planck, pela convivência agradável e ajuda quando se fez necessária, em especial à equipe que participou da coleta de dados desse trabalho, sem sua ajuda o mesmo não seria realizado.

À minha sogra, Creuza Bertino dos Santos, mãe e avó amorosa que tanto me ajudou nos cuidados de minha família quando precisava me ausentar para concluir esse Curso.

Ao meu esposo, companheiro e amigo Célio Roberto Bertino dos Santos, por estar ao meu lado e me apoiar em cada fase da minha vida profissional e pessoal. Ser sua amada esposa é motivo de orgulho para mim.

E finalmente ao meu filho Apolo Oliveira Bertino, todo conhecimento que tenho é o maior bem material que posso oferecê-lo.

Resumo

Florestas de terra-firme são conhecidas por serem densas, com diversidade alta de espécies. Por consequência, contribuem para estocar uma grande quantidade de carbono na biomassa. Neste estudo foram estimadas estoques e seqüestro de carbono na biomassa lenhosa na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã onde tais informações ainda carecem. Em três parcelas, de 1 hectare cada uma, foram inventariadas todas as árvores acima de 10 cm DAP (diâmetro a altura do peito). De todas as árvores foram medidas o DAP. A altura foi medida de 919 indivíduos, para as outras árvores a altura foi estimada através de um modelo de regressão não-linear significativa entre DAP e altura. De todas as espécies foram estimadas densidades de madeira relacionando o peso seco com volume fresco. De todas as espécies foram estimadas idades e taxas de incremento diamétrico utilizando anéis de crescimento que as árvores formam anualmente devido da sazonalidade distinta de precipitação. DAP, altura e densidade da madeira de todas as árvores foram utilizadas para estimar biomassa lenhosa e seu estoque de carbono (50%) através de três modelos alométricos. Um modelo de regressão múltipla foi calibrado para estimar a idade da árvore através do DAP e a densidade da madeira. Dessa maneira foi possível descrever a estrutura etária da floresta e estimar as mudanças do estoque de carbono entre os anos que permite uma estimativas do seqüestro de carbono na biomassa lenhosa. A partir das análises dendrocronológicas determinou-se a densidade de algumas espécies (0,18 a 0,92 g cm⁻³) e a idade da floresta (295 anos). Esses dados somados aos do inventário florístico permitiu-nos aplicar modelos alométricos que estimaram a biomassa entre 188 a 213 Mg ha⁻¹. O estoque de carbono foi estimado entre 94 a 106 Mg ha⁻¹. O seqüestro de carbono variou entre 2,4 a 3,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e o tempo de residência de carbono no local está estimado entre 34 a 43 anos. Comparando esses resultados com outros estimativas para terra firme próximo a Manaus, várzea da RDS Mamirauá e igapó de RDS Amanã, verificou-se uma semelhança com a várzea. Isso possibilitou concluir que a terra-firme desse local possui produtividade semelhante à várzea sendo muito provável que o local de estudo seja um terraço holocênico ou antiga várzea.

Abstract

Forests upland are known to be dense, with high diversity of species. As a result, contribute to store a large amount of carbon in biomass. This study estimated C-storage and C-sequestration in woody biomass in the Sustainable Development Reserve Amanã where such information is still lacking. In three plots of 1 hectare each, were inventoried all trees above 10 cm DBH (diameter at breast height). Of all the trees were measured DBH. Height was measured in 919 individuals for the other trees the height was estimated by a regression model nonlinear correlation between DBH and height. Of all the species were estimated wood densities relating dry weight to fresh volume. Of all the species were estimated ages and diameter increment rates using growth rings that form the trees each year due to seasonality of precipitation distinct. DBH, height and density of all trees were used to estimate woody biomass and its C-storage (50%) through three models were fitted. A multiple regression model was calibrated to estimate the age of the tree through the DBH and the density of wood. Thus it was possible to describe the age structure of the forest and to estimate the changes in carbon stock in the years which allows estimates of carbon sequestration in woody biomass. From the dendrochronological analysis determined the wood density of some species (0.18 to 0.92 g cm⁻³) and age of the forest (295 years). These data added to the floristic survey allowed us to apply allometric models that estimated biomass of 188 to 213 Mg ha⁻¹. The C-storage was estimated between 94 to 106 Mg ha⁻¹. The C-sequestration ranged from 2.4 to 3.1 mg ha⁻¹ yr⁻¹ and the C-turnover in place is estimated between 34 to 43 years. Comparing these results with other estimates for land near Manaus, floodplain and Sustainable Development Reserve Mamirauá and igapó Sustainable Development Reserve Amanã, there was a resemblance to the floodplain. This led us to conclude that the upland site that has similar yield to the floodplain is very likely that the study site is a terrace or ancient Holocene floodplain.

Sumário

Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de figuras	x
1.Introdução	1
2.Revisão Bibliográfica.....	3
2.1.Amazônia - do solo à vegetação.....	3
2.2.Ciclo do carbono em ecossistemas florestais	4
2.3.Biomassa, estoque e seqüestro de carbono nas florestas da Amazônia	6
2.4.Dendrocronologia em regiões tropicais.....	9
3.Objetivos	11
4.Material e Métodos.....	12
4.1.Área de estudo.....	12
4.2.Coleta de dados.....	13
4.2.1.Estabelecimento de parcelas	13
4.2.2.Levantamento de dados florísticos e obtenção dos parâmetros DAP e altura.....	14
4.2.3.Coleta das amostras de madeira	14
4.3.Densidade da madeira, anatomia idade e incremento1	14
4.4.Estimativa de biomassa, estoque, seqüestro do último ano e tempo de residência do carbono na biomassa lenhosa acima do solo.....	17
4.5.Análise de dados	18
5.Resultados	19
6.Discussão.....	31
7.Conclusões.....	37
8.Referências Bibliográficas	37

Lista de Figuras

Figura 1. Área de estudo localizada na Amazônia Central, Brasil: Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã	12
Figura 2. Perfil topográfico das parcelas estabelecidas em terra firme próximo ao lago Amanã na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	13
Figura 3. Tipos de anéis anuais de crescimento de espécies arbóreas tropicais ocorrentes na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã, Amazônia Central.....	16
Figura 4. Relacionando altura (m) com DAP (cm) em terra firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã. O DAP explica 45% da variabilidade da altura	23
Figura 5. Distribuição da densidade (N) com seu desvio padrão por classes diamétricas (cm) nas três parcelas em terra firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	23
Figura 6. Distribuição da área basal (m ²) por classes diamétricas (cm) para as três parcelas em terra firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã	24
Figura 7. Distribuição da área basal nas subparcelas em cada parcela estabelecida em terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	24
Figura 8. Modelo de regressão múltipla para prever a idade (eixo Z, parâmetro dependente) através das variáveis independentes densidade da madeira (Y) e diâmetro a altura do peito (x). Terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	26
Figura 9. Comparação da distribuição de biomassa acima do solo (Mg ha ¹) nas três parcelas em terra firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã utilizando os três modelos alométricos).....	27
Figura 10. Distribuição da média da Biomassa (Mg há ⁻¹) e seu desvio padrão por classes diamétricas (cm) em cada parcela na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	28

Figura 11. Distribuição da biomassa acima do solo por subparcelas em cada parcela na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	28
Figura 12. Biomassa acima do solo em cada parcela na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.....	30
Figura 13. Estoque de carbono acima do solo contido em cada parcela na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã	30

1.Introdução

As florestas tropicais úmidas cobrem apenas 7% das áreas continentais e mantêm cerca de 50% da diversidade do planeta (Shubart, 1983). A bacia amazônica abrange a maior floresta tropical do mundo com papel importante no ciclo de carbono global (Malhi *et al.*, 2006; Saatchi *et al.*, 2007). O bioma amazônico é formado por vários tipos florestais devidos variações climáticas, hidrológicas e edáficas. Florestas de terra-firme abrangem cerca de 80%, florestas alagáveis de igapó e várzea cerca de 6 %, além de outras formações (Pires & Prance, 1985). A terra-firme abrange diferentes formações de florestas devido a variação nas condições edáficas, topográficos, climáticas e hidrológicas como platô, vertente, campinarana e baixio (Ribeiro *et al.*, 1999) e ações antropogênicas ou florestas secundárias. Estas diferenças refletem nas estimativas da biomassa lenhosa nas terras-firmes da Amazônia que variam entre 185 a 430 Mg ha⁻¹ (Megagrama = 1 tonelada) (Malhi *et al.*, 2006).

Recentemente com o crescente aumento das concentrações do CO₂ e outros gases do efeito estufa na atmosfera e o seu impacto no aquecimento da temperatura (IPCC 2007) muitas pesquisas têm sido direcionadas para estudos visando obter estimativas sobre a contribuição de cada ecossistema na absorção do carbono atmosférico (Brown & Lugo, 1992; Fearnside, 1997; Clark, 2004; Malhi *et al.*, 2004, 2006; Saatchi *et al.*, 2007; Schöngart *et al.*, em prensa). O conhecimento da contribuição dos ecossistemas em absorver carbono da atmosfera e incorporá-lo na biomassa lenhosa através de processos fotossintéticos, considerado como armazenamento ao longo prazo de carbono (Malhi *et al.*, 2004), é fundamental na discussão atual de obter créditos de carbono no contexto do protocolo de Kyoto e conferências posteriores.

Em julho de 2001, o Protocolo Kyoto foi referendado em Bonn (Alemanha), abrindo o cumprimento das metas previstas anteriormente e criando os “sumidouros de carbono” onde países que tivessem grandes áreas florestais, poderiam usar as mesmas como crédito em troca do controle de suas emissões. Para isso é necessário que se façam estudos sobre a quantidade de carbono que essas florestas podem absorver para que não haja super ou subvalorização de créditos de carbono.

Porém existem métodos diferentes de estimar estoques e sequestro de carbono na biomassa. A maioria dos estudos aplica modelos alométricos para estimar a biomassa lenhosa acima do solo transformando dados de inventários florestais em estimativas de estoque de biomassa e carbono (Phillips *et al.*, 1998; Nebel *et al.*, 2001; Chave *et al.*, 2003, 2004, 2005; Malhi *et al.*, 2004, 2006). Para Clark (2002) a escolha do modelo alométrico acarreta na veracidade dos resultados e para Chave *et al.* (2004) o modelo a ser escolhido tanto é mais confiável quanto se utilizar mais parâmetros (i. e. diâmetro, altura, densidade da madeira, etc.).

Neste presente trabalho modelos alométricos com três variáveis independentes (diâmetro, altura e densidade da madeira) foram utilizadas para estimar estoques de biomassa lenhosa acima do solo e de carbono de terra-firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA), Amazônia Central. Sequestros de carbono na biomassa lenhosa foram estimados através de análises de séries temporais de anéis de crescimento (dendrocronologia), que árvores formam devido à variação sazonal de precipitação (Worbes 1999, 2002, Dünisch *et al.* 2003, Brienen & Zuidema 2005). O local apresenta carência de tais informações e os resultados contribuem nos planos de desenvolvimento da região para conservação ou/e manejo florestal, além de contribuir para somar aos dados que são relativamente poucos quando se compara com a imensa área que a floresta amazônica abrange.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Amazônia – do solo a vegetação

A Amazônia é distinta do resto da América do Sul por possuir uma densa floresta e grande biomassa. A vegetação é constituída predominantemente pela floresta tropical pluvial em suas diversas formas, comportando, porém uma diversidade considerável correlacionada com os detalhes da topografia, dos solos e do clima, e certamente também com as vicissitudes climáticas pelas quais passou a região no Período Quaternário (Sioli & Klinge, 1964; Shubart, 1983).

É constituída no eixo oeste-leste, atualmente ocupado pelo rio Amazonas, por uma grande bacia sedimentar cuja história remonta à Era Paleozóica, há cerca de 420 milhões de anos. Esta bacia é limitada ao norte pelos escudos das Guianas e ao sul pelo escudo Brasileiro, ambos formados pelas rochas mais antigas do continente sul-americano, da Era Pré-Cambriana (Shubart, 1983).

Na Amazônia se conhece os seguintes tipos de relevo: 1) Planícies de inundações atuais, ou várzeas e igapós; 2) Terraços pleistocênicos; 3) Planalto Amazônico; e 4) Escudos cristalinos (Pires, 1973; Shubart, 1983).

Amazônia possui uma grande variedade de solos (Sombroek, 2001). Os *latossolos amarelos ou vermelhos*, de variadas texturas compõem 70% da área, juntamente com os *podzólicos vermelho-amarelos* (Shubart, 1983). Ainda na Amazônia, pode-se encontrar a *terra roxa estruturada*; a *terra preta de índio* de origem antrópica; os *regossolos de areia branca*; *podzol hidromórfico*; *lateritas hidromórficas*; *gley húmico* e *gley pouco húmico* (Klinge & Rodrigues, 1971); *solos aluviais*, formados pela deposição de sedimentos aluviais dos rios de água branca (Junk, 1993, 1998; Junk *et al.*, 2000; Wittmann *et al.*, 2004).

A Amazônia Brasileira ocupa uma área de aproximadamente 5.000.000 de km². Abriga uma alta diversidade biológica que pode atingir até 300 espécies de árvores por ha com mais de 10 cm de diâmetro à altura do peito (DAP) (Ribeiro *et al.*, 1999).

As florestas inundadas, resumidamente podem ser classificadas em várzeas, ao longo dos rios de águas barrentas e igapós, inundados por um regime de águas pretas ou claras. As terminologias foram propostas por Sioli (1954) e revisadas por Prance (1980). Ainda Prance classificou, de acordo com a influência que as águas

exercem sobre a vegetação local, sete tipos de vegetação de áreas inundáveis: várzea estacional (floresta inundada por água branca); igapó estacional (floresta inundada por água preta e água clara); florestas de planícies inundáveis (inundação por chuva irregular); várzea de maré (água doce represada por maré); manguezal (água salgada). Na década de 1990, Junk (1993, 1996, 1997, 1999) propôs uma classificação de áreas úmidas usando diferentes atributos, e. g., regime de inundação (monomodal versus polimodal, amplitude alta versus amplitude baixa), estado nutricional (rico versus pobre), vegetação (florestas úmidas versus savanas úmidas), tipo de conectividade e história paleoclimática. Atualmente está sendo elaborada uma classificação preliminar das áreas úmidas no Estado do Amazonas.

A formação vegetal dominante é mata de terra-firme, termo aplicado na Amazônia para designar a floresta não alagada periodicamente (Hopkins, 2005). A florística e a estrutura não são homogêneas. Padrões de distribuição geográfica comuns a várias espécies definem províncias fitogeográficas distintas. Assim, existem grandes diferenças entre a composição florística da Amazônia Oriental à Ocidental e, dentro de cada uma dessas áreas, entre o norte e o sul do divisor formado pelos rios Solimões-Amazonas (Ribeiro *et al.*, 1999).

Hopkins (2005) cita quatro tipos de vegetação encontrados na Reserva Ducke (Amazônia Central) associadas com tipo de relevo e composição do solo: florestas de platô - solo latossolo amarelo-álco, pobre em nutrientes é a floresta com grandes estoques de biomassa e árvores emergentes com mais de 45 m de altura; vertente - solos argilosos nas partes mais altas a areno-argilosos nas mais baixas com dossel entre 25 a 35 m de altura; baixio - solo arenoso, encharcado com as chuvas, com acúmulo de sedimentos e dossel de 20-35 m; e campinarana - solo de areia-branca (areias quartzosas) com grande acúmulo de serrapilheira, dossel de 15-25 m e poucas árvores de grande porte (menor biomassa e menor diversidade) (Ribeiro *et al.*, 1999). Pires e Prance (1985) em geral classificaram as florestas de terra-firme em vegetação de áreas restritas (pântano de manguezais, restinga, buritizal) e vegetação de ampla extensão (densas florestas, abertas sem palmeiras, abertas com palmeiras, florestas de lianas, florestas secas e florestas montanhosas).

2.2.Ciclo do carbono em ecossistemas florestais

Para entender a proposta de mensurar a biomassa lenhosa acima do solo em uma pequena fração dessa imensa floresta que abrange a Amazônia, será descrito aqui de forma resumida o caminho que o carbono percorre neste ecossistema.

Chapin *et al.* (2006) disseram que todo o balanço líquido de carbono (Net Ecosystem Carbon Balance- NECB) num determinado ecossistema é resultado da soma fluxos do carbono seja pela forma orgânica ou pela forma inorgânica, indiferente da escala temporal e espacial. Dependendo da necessidade de se determinar esse balanço por um intervalo de tempo, a fim de monitorar o local, pode-se determinar a produção primária do bioma (Net Biome Production- NBP).

Net Ecosystem Exchange (NEE) é o fluxo de gases no sentido vertical e lateral entre o ecossistema e a atmosfera, como: gás dióxido de carbono (CO_2); gás monóxido de carbono (CO); gás metano (CH_4); compostos orgânicos voláteis (VOCs); presença de compostos orgânicos e inorgânicos a base de carbono dissolvidos (DOC e DIC) e transferência lateral de partículas de carbono (PC) como interferência da presença de animais, queimadas, deposição trazida pela água de rios, erosão e intervenção antropogênica, por exemplo. (Chapin *et al.*, 2006)

Parte do carbono presente na atmosfera em forma de dióxido de carbono é fixado pela floresta através de processos fotossintéticos e/ou quimiossintéticos, os organismos que atuam nesse processo são denominados autótrofos e todo o carbono contido nesse meio (Prentice *et al.*, 2001) é definido como produção primária bruta do ecossistema (Gross Primary Production -GPP). Mas o ecossistema também respira (Ecosystem Respiration- ER) liberando, assim, parte do carbono que fixou. A respiração do ecossistema é promovida pelos organismos autotróficos (AR) somada com a respiração dos organismos heterotróficos (HR). Então a produção líquida de todo um ecossistema (Net ecosystem production-NEP) é a diferença entre GPP e ER. E se quisermos saber o quanto é a contribuição líquida dada apenas pelos organismos autotróficos (Net primary production -NPP), incluindo a flora local, basta sabermos a diferença entre a GPP e a AR (Roy *et al.*, 2001; Clark *et al.*, 2001b; Chapin *et al.*, 2006).

Em ecossistemas terrestres a NPP é representada pela produção de folhas, flores, frutos, madeira, temporária formação do hidrocarboneto, produtividade de raízes, produção de exsudado da raiz e a exportação direta do hidrato de carbono dos simbiotes e dos parasitas e VOCs (Clark *et al.*, 2001). Compreender o valor

relativo e a variação espacial e temporal destes componentes é um assunto de interesse considerável, para testar nossa compreensão do funcionamento dos ecossistemas, do papel da biosfera em ciclos biogeoquímicos globais, e da resposta dos ecossistemas as perturbação locais e globais (Malhi *et al.*, 2004).

2.3. Biomassa, Estoque e Seqüestro de Carbono nas Florestas da Amazônia

A biomassa lenhosa (tronco e galhos) é considerada como o armazenamento de longa residência de carbono, enquanto folhas, flores, frutos, etc. são de curto tempo. Por isso muitos estudos se concentram em estimativas de biomassa lenhosa e de carbono (geralmente compõem 50% da biomassa lenhosa) (Clark *et al.*, 2001b; Malhi *et al.*, 2004).

Quantificar a biomassa e suas mudanças ao longo do tempo possibilita caracterizar a dinâmica de um ecossistema florestal. Porém, mensurá-la é um difícil processo devido a diversidade de espécies arbóreas, densidades da madeira variadas, arquiteturas e diferentes formas de vida. (Chave *et al.*, 2004). Existem dois métodos para obtenção de dados de biomassa em campo (Brown *et al.*, 1989). O método direto consiste em derrubar árvores ou parcelas permanentes de florestas, determinando volume, peso fresco e peso seco do material. Baseados nisso são calibrados os modelos alométricos, que é o método indireto, onde os dados são extraídos de inventários florestais transformado em estimativas de biomassa lenhosa através destes modelos alométricos.

A escolha de um modelo alométrico que se possa aplicar num determinado ecossistema florestal apresenta-se como o primeiro desafio para quantificar biomassa devido às variáveis citadas anteriormente. Estes modelos são confeccionados relacionando biomassa (parâmetro dependente) com variáveis independentes como diâmetro, altura e densidade da madeira das árvores. Chave *et al.* (2005) indicam que o peso das variáveis independentes diminui na ordem diâmetro, densidade da madeira, altura e tipo florestal.

Quando se consegue estimar o quanto um ecossistema estoca (acúmulo ao longo do tempo) e sequestra (a quantidade acumulada em uma unidade de tempo) de carbono essas informações nos permite entender o comportamento desse ecossistema em tempo real bem como nos permite entender como o mesmo

responde a fenômenos naturais e intervenções antrópicas em anos anteriores. Por exemplo, eventos de *El Niño* (são alterações de curta duração na distribuição da temperatura da superfície da água do Oceano Pacífico (Schöngart *et al.*, 2004), causam em muitas regiões da floresta amazônica uma diminuição significativa de chuvas (Ronchail *et al.*, 2002) que em consequência resulta em estresse fisiológico. Isso causa taxas elevadas de respiração que tornam os ecossistemas da terra-firme em fontes de carbono nestes anos na maioria das regiões de terra-firme (Prentice & Lloyd, 1998; Tian *et al.*, 1998; Foley *et al.*, 2003). Devido o aquecimento previsto das temperaturas superficiais nos oceanos tropicais (Pacífico Tropical, Atlântico Tropical Norte) (IPCC 2007) que controlam parcialmente o regime pluviométrico da Amazônia (Marengo *et al.*, 2008) grandes áreas de terra-firme principalmente em áreas de altas taxas de deflorestamento podem sofrer grandes impactos causando um futuro colapso das florestas de terra-firme principalmente na região do arco de deflorestamento num processo denominado savanização (Oyama & Nobre, 2003; Malhi *et al.*, 2008).

O acúmulo de CO₂ na atmosfera, gás principal do efeito estufa (IPCC, 2007), causa discussões a partir de duas questões controversas: a primeira é que a taxa de fotossíntese eleva-se e isso conseqüentemente acarreta no aumento de biomassa atuando no chamado “efeito adubo” (Phillips *et al.*, 1998, 2008; Malhi *et al.*, 2004); na segunda hipótese as mudanças na temperatura alteram o regime pluviométrico que causam estresse nos ecossistemas, estes diminuem a assimilação de C e conseqüentemente causando o aumento de CO₂ na atmosfera (Clark, 2004; Fearnside, 2006; Phillips *et al.*, 2009).

Chambers *et al.* (2001) estabeleceram nas duas reservas do INPA, BIONTE (Biomass and Nutrient Experiment) e BDFFP (Biological Dynamics of Forest Fragments Project) um experimento para monitorar a biomassa em parcelas permanentes no início da década 1980. O local apresenta pluviosidade em torno de 2200 mm e uma temperatura média de 26,7 °C. Baseados em 315 árvores derrubadas com DAP > 5 cm, Chambers *et al.*, (2001) elaboraram modelos alométricos para prever biomassas através do DAP. Eles compararam os valores determinados de biomassas com estimativas obtidas por mais cinco modelos alométricos de outras florestas tropicais (Brown 1998). Dois destes modelos indicaram grandes discrepâncias em relação com os valores determinados,

enquanto três indicaram estimativas semelhantes de biomassa. A média de 21 ha de florestas de terra-firme indica uma biomassa lenhosa de $324 \pm 17 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Chave *et al.* (2005) utilizaram dados de biomassa de 2410 árvores acima de 5 cm de DAP de várias regiões tropicais. Para confeccionar modelos alométricos os autores agruparam os indivíduos de várias florestas tropicais pelo regime pluviométrico: florestas per-úmidas, cuja precipitação excede de 3500 mm ao ano e não há sazonalidade; florestas cuja precipitação varia de 1500-3500 mm ao ano e onde se observa uma estação seca de pelo menos quatro meses (florestas úmidas); e florestas secas com estação seca pronunciada onde a precipitação é menos que 1500 mm ao ano, ou “dry forests”. Chave *et al.* (2005) indicam neste estudo que as variáveis independentes decrescem na ordem DAP, densidade da madeira, altura e tipo de floresta para prever biomassas lenhosas.

Malhi *et al.* (2006) mostram um mapa com estimativas de biomassa lenhosa seca para toda a Amazônia baseado em 227 parcelas variando de 200 até acima de 350 Mg ha^{-1} de lenho seco. Segundo este estudo, a previsão de biomassa lenhosa para a RDSA, local do presente estudo, varia de 310 a 350 Mg ha^{-1} . Saatchi *et al.* (2007) realizaram previsões de biomassa viva baseadas em 544 parcelas e fizeram uma extrapolação aplicando técnicas de sensoriamento remoto para toda a bacia amazônica. Para toda a bacia amazônica eles estimam um estoque de carbono de 77-95 Pg incluindo biomassa morta e biomassa abaixo do solo. Os autores apresentam estimativas médias (indica para cada media os intervalo de confiança de 95%) que variam de acordo com o tipo de floresta. Para floresta: densa 272,5 Mg ha^{-1} ; aberta 200 Mg ha^{-1} ; de bambu 212 Mg ha^{-1} ; seca/liana 188 Mg ha^{-1} ; decídua/sazonal 225,6 Mg ha^{-1} ; e várzea 248 Mg ha^{-1} . Para a área em estudo deste trabalho os autores prevêem uma biomassa viva de 300-400 Mg ha^{-1} .

Schöngart *et al.* (em prensa) realizaram estimativas de estoques e sequestro de carbono na biomassa lenhosa em florestas alagáveis da Amazônia Central. Como não existem modelos alométricos específicos para florestas de várzea eles compararam seis diferentes modelos alométricos de terra-firme que utilizam 1 a 3 variáveis independentes. Eles concluíram que somente estimativas de biomassa lenhosa baseados em três variáveis (diâmetro, densidade da madeira e altura da árvore) podem ser consideradas, devido às diferenças na altura e densidade da

madeira entre florestas de várzea e terra-firme. Dependendo do estágio sucessional as estimativas de biomassa lenhosa variaram entre 15 a 251 Mg ha⁻¹.

Stadtler (2007) testou os mesmos seis modelos alométricos nas florestas alagadas de igapó da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã com o resultado que somente modelos que usam diâmetro, densidade da madeira e altura da árvore como parâmetros independentes podem ser consideradas com estimativas adequadas. Ela verificou que biomassa lenhosa em florestas de igapó varia ao longo de um gradiente hídrico (associado com a topografia) entre 180±40 Mg ha⁻¹ em igapós baixos e 230±40 Mg ha⁻¹ em igapós altos. As árvores, do inventário florístico levantado neste trabalho, possuíam DAP igual ou acima de 10 cm.

2.4. Dendrocronologia em regiões tropicais

Dendrocronologia (do grego: dendros, árvore; cronos, tempo; e logos, ciência) estuda todas as informações que se obtém através de análises de anéis de crescimento formados em consequência do crescimento secundário da árvore (Coster, 1927; Worbes, 2004).

Por muitos anos a dendrocronologia era associada à datação de antigas casas, pinturas e amostras arqueológicas. Recentemente ela vem sendo usada como ferramenta para estudo de mudanças climáticas globais também em florestas tropicais, estudo da dinâmica do carbono (Schöngart, 2003; Schöngart *et al.*, em prensa), reconstrução climática e manejo florestal (Schöngart, 2003, 2008; Schöngart *et al.*, 2004, 2005, 2006, 2007).

O princípio do estudo dendrocronológico está em analisar a formação de anéis de crescimento do lenho. Em zonas temperadas e boreais, à sazonalidade da temperatura contribuem para essa formação. Nas zonas tropicais, onde não ocorrem essas distintas sazonalidades de temperatura, acreditava-se que as árvores não formavam anéis de crescimento (Whitmore, 1993).

O primeiro registro de formação de anéis de crescimento nos trópicos foi relatado por Ursprung (1904). Depois muitos estudos indicaram que a formação de anéis anuais se deve a sazonalidade de precipitação na terra-firme (Brienen &

Zuidema, 2005; Worbes, 2004) ou às inundações anuais nas várzeas e igapós (Worbes, 2004; Schongart *et al.*, 2004).

As técnicas usadas na dendrocronologia que é uma análise retrospectiva fornecem um acesso rápido (Worbes, 2004) em relação ao crescimento arbóreo e produtividade da floresta. Essa técnica já foi aplicada para estimar a produtividade de biomassa lenhosa e o sequestro de carbono na biomassa lenhosa em florestas alagáveis de igapó e várzea nas Reservas de Desenvolvimento Sustentáveis Amanã e Mamirauá, respectivamente (Schöngart, 2003; Stadtler 2007). A aplicação desta metodologia se mostrou eficaz, pois permite uma estimativa da produção de biomassa lenhosa mais rápida que parcelas permanentes que geralmente são monitoradas por anos para obter tais dados. Porém, parcelas permanentes são necessárias para obter informações de taxas de mortalidade e recrutamento para realizar um balanço de carbono na biomassa lenhosa. Isso não é considerado neste estudo.

3. Objetivos

3.1. Geral

Estimar a biomassa lenhosa seca, o estoque e o sequestro de carbono acima do solo em florestas de terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (Amazônia Central).

3.2. Específicos

- ✓ Realizar um inventário florestal na terra-firme da RDS Amanã;
- ✓ Aplicar três modelos alométricos transformando dados do inventário florestal em estimativas de biomassa lenhosa seca acima do solo;
- ✓ Descrever a anatomia de anéis de crescimento no xilema;
- ✓ Determinar a idade, o incremento radial anual e a densidade da madeira das espécies arbóreas amostradas;
- ✓ Estimar o estoque, e a taxa de sequestro e o tempo de residência do carbono na biomassa lenhosa viva;
- ✓ Comparar os resultados com outros obtidos em terra-firme, várzea e igapó da região da Amazônia Central.

4. Material e Métodos

4.1. Área de estudos

A área de estudo foi a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (RDSA), que juntamente com a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e o Parque Nacional do Jaú, formam um corredor ecológico no centro da Amazônia de aproximadamente 57.460 km² (Queiroz, 2005; Schöngart *et al.*, 2005).

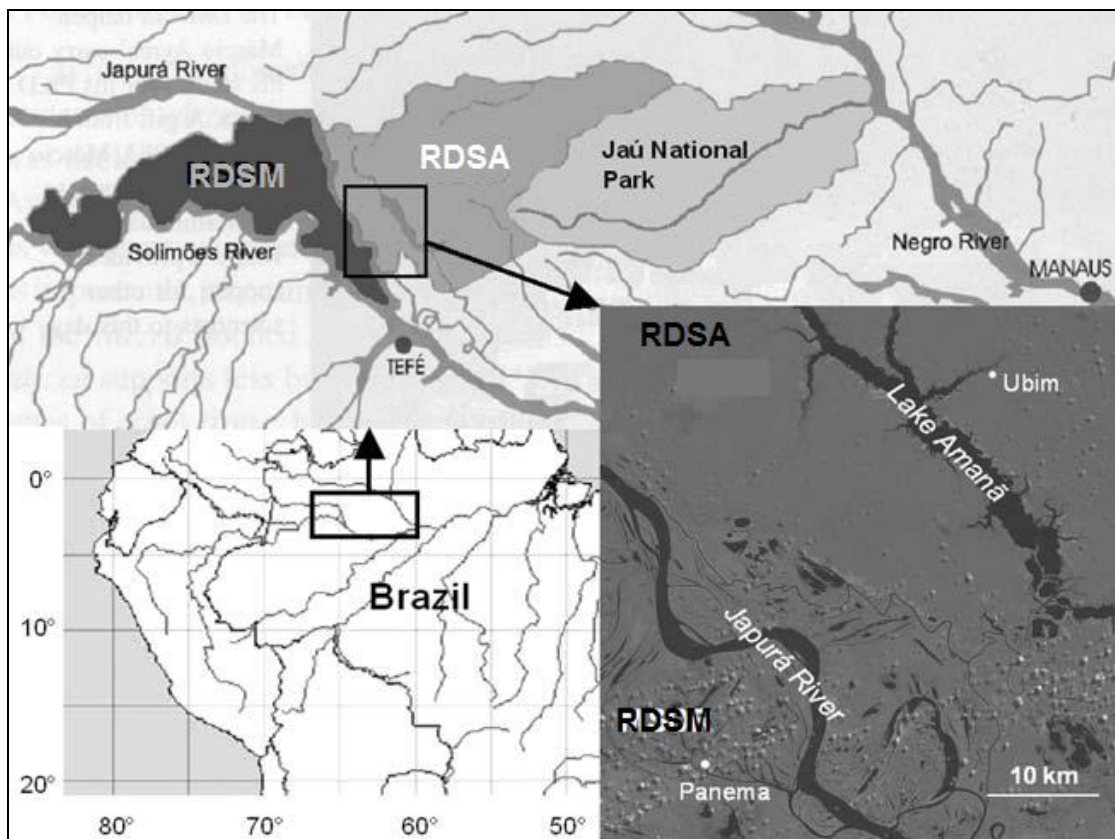


Figura 1: Área de estudo localizada na Amazônia Central, Brasil: Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã (Fonte: Schöngart *et al.*, 2005).

A RDSA encontra-se a 550 km oeste de Manaus (1°30' S - 3°00' S, 65°00' - 63°00' O), em área que abrange parte dos Municípios de Maraã, Coari, Codajás e Barcelos (Decreto Estadual nº 19.021 de 04 de agosto de 1998). Localizada na margem esquerda do baixo Rio Japurá, a Reserva Amanã ocupa uma área de 23.500 km² do interflúvio Rio Negro - Rio Japurá. Coberta por uma vegetação de área inundada por várzea de águas brancas e igapó de águas pretas (Pleistoceno e

Holoceno) e principalmente por vegetação de terra-firme. A terra-firme foi formado no Terciário, porém na RDSA ao redor do lago Amanã ocorrem florestas de terra-firme que se desenvolveram de antigas terraços fluviais (paleovárzea) (Wittmann, com. pessoal), visível pelas antigas estruturas geomorfológicas nas imagens satélite

Possui um dos maiores lagos da Amazônia, o lago Amanã (Ayres, 1993; Silva, 2004; Schöngart *et al.*, 2005), que recebe águas pretas provenientes dos igarapés de terra-firme, porém parte do ano, especificamente na cheia dos rios que ocorre no primeiro semestre do ano, recebe águas brancas do Rio Japurá. A influência das águas pretas e brancas na vegetação deste local é observada pela ocorrência de herbáceas aquáticas (Silva, 2004) e espécies arbóreas (Rodrigues, 2007).

O clima local é caracterizado com temperatura em torno de 26,5°C e precipitação acima de 3000 mm com uma distinta estação seca de julho a outubro (Schöngart *et al.*, 2005).

4.2. Coleta de Dados

4.2.1. Estabelecimento de Parcelas

Foram estabelecidas três parcelas subseqüentes de 50 x 200 m cada (um hectare) em terra-firme (paleovárzea). O acesso a essas parcelas se dá pelo lago Amanã próximo à comunidade Bacaba. Cada hectare foi dividido em 16 subparcelas de 25 x 25 m. A parcela central (2) foi o alvo de estudos dendrocronológicos para este trabalho e sua escolha foi aleatória.

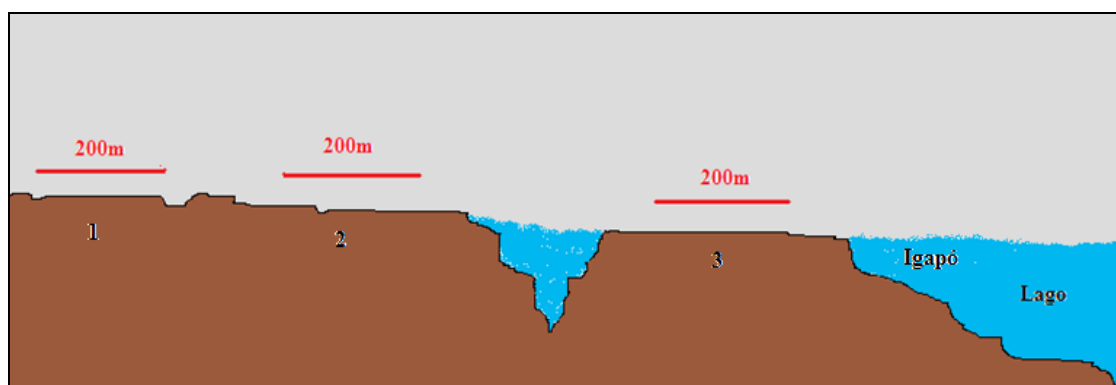


Figura 2: Perfil das parcelas estabelecidas em terra-firme próximo ao lago Amanã na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.

4.2.2. Levantamento de dados florísticos e obtenção dos parâmetros DAP e altura

As três parcelas foram inventariadas em maio de 2008. As árvores com DAP igual ou acima de 10 cm foram identificadas com ajuda de um mateiro. Mais de 95% dos indivíduos foram identificados no campo, para os demais foi feita coleta de material para comparação com exsicatas do Herbário do Inpa. O DAP foi medido com auxílio de fita diamétrica, com exceção de árvores com sapopemas no qual o diâmetro foi mensurado acima destas. Para medir a altura utilizou-se o aparelho inclinômetro Blume Leiss BL-6.

4.2.3. Coleta de amostras de madeira

A coleta de amostras de madeira teve com finalidade de determinar a densidade da madeira e, através da análise macroscópica da anatomia de madeira, a idade e taxas médias anuais de incremento radial (Worbes, 2005). Para isso utilizou-se uma broca com 5 mm de diâmetro, perfurando as árvores e selando o orifício causado pela broca com cera de carnaúba para evitar o ataque de xilófagos. As amostras foram levadas ao Laboratório de Dendrocronologia Inpa/Max Planck. O critério de escolha de amostras baseou-se em adquirir cilindros de todas as espécies pertencentes à parcela 2, com diferentes diâmetros e até cinco representantes.

4.3. Determinação da densidade da madeira, anatomia, idade e incremento

Para determinar a densidade da madeira foram coletados 208 cilindros de árvores diferentes abrangendo 47 espécies identificadas conforme o item 4.2.2. Cada cilindro foi medido com auxílio de um paquímetro digital, ainda em campo para calcular o volume fresco pela área basal (diâmetro de 5 mm) e o comprimento da amostra. No Laboratório de Dendrocronologia do Projeto INPA/Max-Planck em Manaus, o material foi submetido numa estufa à uma temperatura de 105°C durante 72 horas (Chave *et al.*, 2005; Parolin & Ferreira, 1998) e pesado em balança analítica para determinar o peso seco. A densidade foi calculada através da razão do peso seco pelo volume fresco (g cm^{-3}).

Para determinar a anatomia foram coletados 208 cilindros de árvores diferentes (em duplicata). Os cilindros coletados para determinar a idade e taxas do incremento em diâmetro foram colados num suporte de madeira e lixando-os em sequência progressiva até granulação de 600 no Laboratório de Dendrocronologia do Projeto INPA/Max-Planck em Manaus. A análise macroscópica da estrutura dos anéis será feita com binóculo e documentado a partir de imagens coletadas da câmera digital NIKON coolpix 4500. A descrição da anatomia da madeira dos anéis de crescimento foi comparada com os padrões de anéis descritos por Coster (1927) e adaptados por Worbes (1985,1989): variação de densidade (e.g., Annonaceae, Lauraceae, Myrtaceae); bandas de parênquima marginal (e.g., Fabaceae, Meliaceae); alternância entre fibra e parênquima (e.g., Sapotaceae, Moraceae, Lecythidaceae); e variação do tamanho do vaso e sua distribuição. Em espécies arbóreas tropicais, o limite dos anéis é caracterizado principalmente por variações na densidade da madeira (Figura 3 C), faixas de parênquima marginal (Figura 3 D, 3 E e 3 F) e alternância das faixas de fibra e parênquima (Figura 3 A e 3 B).

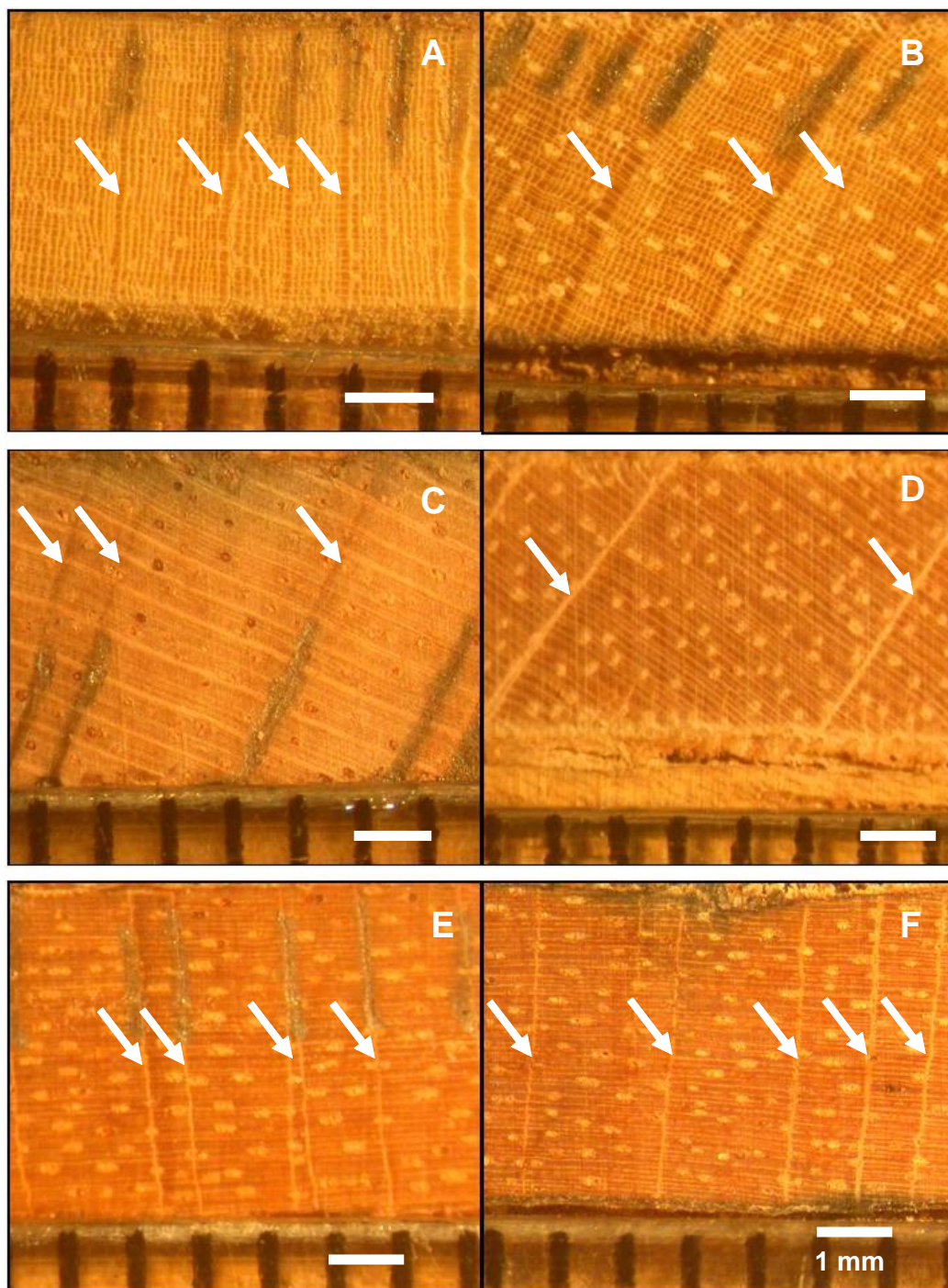


Figura 3: Tipos de anéis anuais de crescimento de espécies arbóreas tropicais ocorrentes na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã, Amazônia Central. As setas indicam os limites dos anéis – A: alternância das faixas de fibra e parênquima em Fabaceae (*Dialium guianense*); B: alternância das faixas de fibra e parênquima em Lecythidaceae (*Eschweilera bracteosa*); C: variância na densidade da madeira em Malvaceae (*Theobroma rubecens*); D: faixas de parênquima marginal em Fabaceae (*Copaifera multijuga*); E: faixas de parênquima

marginal em Myristicaceae (*Iryanthera coriacea*); e F: faixas de parênquima marginal em Myristicaceae (*Iryanthera* sp).

A idade das árvores foi estimada relacionando as taxas médias anuais de incremento radial (TIR) com o DAP:

$$\text{Idade} = \text{DAP} / 2 \times \text{TIR}$$

A TIR, de cada indivíduo amostrado, foi determinada pela razão do raio (cm) sobre o número de anéis contados após a identificação da anatomia.

4.4. Estimativa de biomassa, estoque, seqüestro do último ano e tempo de residência do carbono na biomassa lenhosa acima do solo

O presente trabalho utilizou três modelos alométricos para estimar a biomassa lenhosa acima do solo.

Tabela 1: Modelos alométricos para estimativas de biomassa lenhosa aérea através de parâmetros independentes: AB = área basal; ALT = altura; BIO = biomassa lenhosa acima do solo; DAP = diâmetro à altura do peito; DEN = densidade da madeira.

MODELO	AUTOR	CITAÇÃO NESTE TRABALHO
$\text{BIO} = \text{AB} * \text{ALT} * \text{DEN} * 0,6$	Cannell 1984	MODELO 1
$\text{BIO} = 0,112 * (\text{DEN} * \text{DAP}^2 * \text{ALT})^{0,916}$	Chave <i>et al.</i> 2005	MODELO 2
$\text{BIO} = 0,0509 * \text{DEN} * \text{DAP}^2 * \text{ALT}$	Chave <i>et al.</i> 2005	MODELO 3

O modelo 1(Tabela 1) foi utilizado por Cannell (1984) em florestas úmidas usando as variáveis área basal, densidade da madeira e altura. O modelo 2 foi utilizado por Chave *et al.* (2005) que também utilizou estas três variáveis os autores concluíram que a aplicação desse modelo se mostrou mais viável em florestas tropicais secas. O modelo 3 foi utilizado por Chaves *et al.* (2005) no qual o mesmo recomenda seu uso para florestas tropicais úmidas. Os modelos 2 e 3 utilizam as variáveis DAP, densidade da madeira e altura. Esses três modelos foram testados por Schöngart *et al.* (em prensa) na várzea da RDS Mamirauá e por Stadler (2007) no igapó da RDS Amanã.

A altura de indivíduos não mensurada foi calculada usando um modelo de regressão não-linear:

$$ALT = a + b \ln (DAP)$$

O conteúdo de carbono corresponde a 50% da biomassa seca lenhosa acima do solo (Clark *et al.*, 2001a, b; Roy *et al.*, 2001; Malhi *et al.*, 2004).

O sequestro do último ano de carbono foi estimado através da mudança do estoque de carbono na biomassa lenhosa de um ano para outro, considerando o aumento do DAP pelos anéis anuais e o aumento da altura através da relação entre DAP, densidade da madeira (DM) e idade estimada por um modelo de regressão múltipla não linear entre as duas variáveis (DAP e DM) incluindo a dependente idade (Schöngart *et al.*, em prensa).

O tempo médio de residência do carbono na biomassa ou *turnover* foi estimado dividindo-se o estoque de carbono pelo sequestro e o resultado é dado em anos (Malhi *et al.*, 2004).

4.5. Análise de dados

Para verificar se existe diferença estatística dos valores médios de DAP, idade, taxas de incremento radial anual (TIR), densidade da madeira (DM), foi gerada uma matriz de correlação (r) através do programa Estatística.

5. Resultados

Nas parcelas 1, 2 e 3 foram identificadas respectivamente 97, 83 e 104 espécies sendo 36 comuns nas três parcelas. Para as três parcelas, a espécie mais abundante foi *Virola calophylla* (N= 201) seguida de *Iryanthera elliptica* (N=130) e *Iryanthera coriacea* (N=116) ambas pertencentes à família Myristicaceae. A família com maior número de espécies totalizando 24 foi a Fabaceae (classificação conforme a APGII). Apenas um indivíduo não foi identificado. A densidade de indivíduos por hectare, com diâmetro igual ou acima de 10 cm, foi de N= 561, N= 546 e N= 650 nas parcelas em ordem crescente, respectivamente (Tabela 2).

O diâmetro médio com seu desvio padrão em cada parcela foi estimado em $20,50 \pm 14,36$ (parcela 1); $21,11 \pm 12,85$ (parcela 2) e $20,84 \pm 12,38$ cm (parcela 3) (Tabela 2). Um indivíduo de espécie não identificada apresentou o maior diâmetro medindo 140 cm e localizado na parcela 1. O segundo maior diâmetro, *Bertholletia excelsa* (Lecythidaceae), com 120 cm localizado na parcela 3. E o terceiro, *Moronobea coupinea*, com 115,7 cm localizado na parcela 1 (Clusiaceae).

A média das alturas na parcela 1 e seu desvio padrão foram de $14,8 \pm 4,1$ m; na parcela 2, $16,0 \pm 3,5$ m; e na parcela 3, $16,0 \pm 2,5$ m. A soma da área basal para as mesmas foi $26,4 \text{ m}^2$ (parcela 1), $25,9 \text{ m}^2$ (parcela 2), e $31,0 \text{ m}^2$ (parcela 3) (Tabela 2).

Tabela 2: Dados florísticos de três parcelas com um hectare cada, estabelecidas em terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã, Amazônia Central. N= densidade de espécies; N° ESP= número de espécies; DAP= média do diâmetro a altura do peito (cm), desvio padrão e valores mínimo/máximo; ALT= média da altura (m) nesta parcela com seu desvio padrão e valores mínimo/máximo; AB= soma da área basal ($\text{m}^2 \text{ há}^{-1}$) com seu desvio padrão e valores mínimo/máximo; DEN= média da densidade da madeira (g cm^{-3}) com seu desvio padrão e valores mínimo/máximo.

PARCELA	N	N° ESP	DAP	ALT	AB	DEN
1	561	97	$20,5 \pm 14,34$	$14,8 \pm 4,06$	26,4	$0,57 \pm 0,09$
			10/140	9,9/32,4		0,35/0,83

2	546	83	21,1±12,85 10/115	16,0±3,49 10,5/29,3	25,9	0,58±0,12 0,21/0,92
3	650	104	20,8±12,58 10/120	16,0±2,49 12,6/26,1	30,0	0,59±0,11 0,35/0,83

Foram determinadas densidades da madeira de 47 espécies arbóreas (Tabela 3). A densidade média da madeira foi $0,56 \pm 0,15 \text{ g cm}^{-3}$. *Pourouma vilosa* (Urticaceae) apresentou a menor densidade da madeira com $0,25 \pm 0,04 \text{ g cm}^{-3}$. A maior densidade da madeira teve *Licania micrantha* (Chrysobalanaceae) com $0,83 \text{ g cm}^{-3} \pm 0,01$.

Pourouma minor (Urticaceae) apresentou maior TIR (taxa de incremento radial) com $6,8 \pm 0,16$, seguida por *Guatteria discolor* (Annonaceae) com TIR 48,5% menor (Tabela 3). As taxas de incremento foram calculadas de 119 amostras de cilindro coletadas em campo.

Tabela 3: Dados de análises dendrocronológicas de algumas espécies da Parcela 2. N= amostra de cada espécie, DEN= média da densidade da espécie (g cm^{-3}) e seu desvio padrão, Min-Max = valores mínimo e máximo da amostra de cada espécie para análise de densidade da madeira. Idade= média da idade (anos) de algumas espécies e seu desvio padrão. TIR= taxa de incremento radial (mm) por espécie, ao ano, e seu desvio padrão.

ESPÉCIE	N	DEN (g cm^{-3})	Min-Max	IDADE	TIR (mm)
<i>Aparisthmum cordatum</i>	5	0,52 ±0,10	0,44-0,56	73 ±16	1,1 ±0,01
<i>Aspidosperma nitidum</i>	1	0,67			
<i>Bochagiopsis cff.</i>	3	0,61 ±0,09	0,58-0,64		
<i>Multiflorum</i>					
<i>Cecropia ascidifolia</i>	3	0,41 ±0,09	0,33-0,41		
<i>Conceveiba micrantha</i>	6	0,50 ±0,21	0,43-0,56	60 ±20	1,6 ±0,04
<i>Copaifera multijuga</i>	2	0,64 ±0,01	0,63-0,65	94 ±79	1,9 ±0,04
<i>Dialium guianense</i>	5	0,78 ±0,02	0,73-0,82	155 ±107	1,1 ±0,02
<i>Eschweilera bracteosa</i>	6	0,76 ±0,07	0,74-0,92	117 ±94	0,9 ±0,01
<i>Ferdinandusa goudotiana</i>	2	0,61 ±0,21	0,60-0,62	140	1,9

<i>Goupia glabra</i>	3	0,76	±0,02	0,74-0,78	194	±50	1,7	±0,01
<i>Guarea convergens</i>	4	0,71	±0,01	0,70-0,71				
<i>Guatteria discolor</i>	6	0,39	±0,13	0,36-0,49	47	±24	3,5	±0,09
<i>Helycostylis scabra</i>	5	0,56	±0,14	0,53-0,58	35	±12	2,5	±0,05
<i>Hieronimia sp.</i>	5	0,66	±0,14	0,61-0,83				
<i>Inga Alba</i>	5	0,53	±0,20	0,33-0,74				
<i>Inga sp. (branca)</i>	2	0,60	±0,19	0,58-0,70				
<i>Iryanthera elliptica</i>	6	0,68	±0,06	0,59-0,73	118	±89	1,2	±0,03
<i>Iryanthera sp.</i>	5	0,68	±0,07	0,58-0,71	73	±15	1,4	±0,05
<i>Licania heteromorpha</i>	3	0,45	±0,03	0,41-0,50	63	±14	1,5	±0,05
<i>Licania micrantha</i>	2	0,83	±0,02	0,81-0,84	61		1,0	
<i>Maquira calophylla</i>	5	0,65	±0,04	0,60-0,70	62	±24	2,2	±0,09
<i>Miconia argyrophylla</i>	2	0,54	±0,02	0,53-0,56	31	±10	3,2	±0,17
<i>Micropholis casiquiarensis</i>	3	0,61	±0,02	0,59-0,62	132	±71	1,2	±0,03
<i>Neea madeirana</i>	5	0,51	±0,09	0,46-0,67	42		2,0	
<i>Ocotea cinérea</i>	5	0,54	±0,10	0,37-0,59	67	±65	2,7	±0,06
<i>Ocotea sp.</i>	4	0,50	±0,09	0,44-0,56	42	±12	2,3	±0,08
<i>Ormosia paraensis</i>	2	0,55	±0,02	0,53-0,57	58		2,3	
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	2	0,49	±0,12	0,40-0,45	40			
<i>Pouroma minor</i>	5	0,37	±0,06	0,35-0,39	22	±11	6,8	±0,16
<i>Pourouma villosa</i>	2	0,25	±0,04	0,21-0,28				
<i>Pouteria caimito</i>	2	0,83	±0,09	0,76-0,89	86		1,1	
<i>Pouteria williamii</i>	2	0,66	±0,15	0,56-0,75	42		1,2	
<i>Protium apiculatum</i>	6	0,60	±0,10	0,48-0,66	56	±5	1,7	±0,04
<i>Pseudopeptadenia psilostachya</i>	5	0,57	±0,07	0,54-0,64	67	±54	3,4	±0,15
<i>Quararibea sp.</i>	4	0,63	±0,02	0,54-0,65	38	±10	2,0	±0,05
<i>Sclerolobium sp.</i>	4	0,53	±0,16	0,30-0,87	49	±33	3,1	±0,10
<i>Sterculia apétala</i>	3	0,38	±0,05	0,33-0,44	25	±15	3,8	±0,19
<i>Tachigali venusta</i>	4	0,57	±0,08	0,51-0,69	58	±27	2,8	±0,18
<i>Tapirira guianensi</i>	3	0,40	±0,05	0,35-0,45	44	±7	2,2	±0,03
<i>Theobroma subincanum</i>	6	0,57	±0,03	0,53-0,59	49	±25	1,8	±0,07
<i>Theobroma subincanum</i>	2	0,55	±0,01	0,54-0,56				
<i>Theobroma subincanum</i>	6	0,58	±0,03	0,54-0,60				

<i>Trattinnickia peruviana</i>	5	0,54	±0,06	0,46-0,62	60	±15	1,4	±0,05
<i>Virola calophylla</i>	6	0,48	±0,03	0,44-0,52	58	±17	1,6	±0,07
<i>Virola micheli</i>	3	0,46	±0,01	0,45-0,46	31		1,7	
<i>Virola surinamensis</i>	2	0,52	±0,00					
<i>Vochysia sp.2</i>	6	0,57	±0,09	0,45-0,67	133	±65	2,1	±0,05

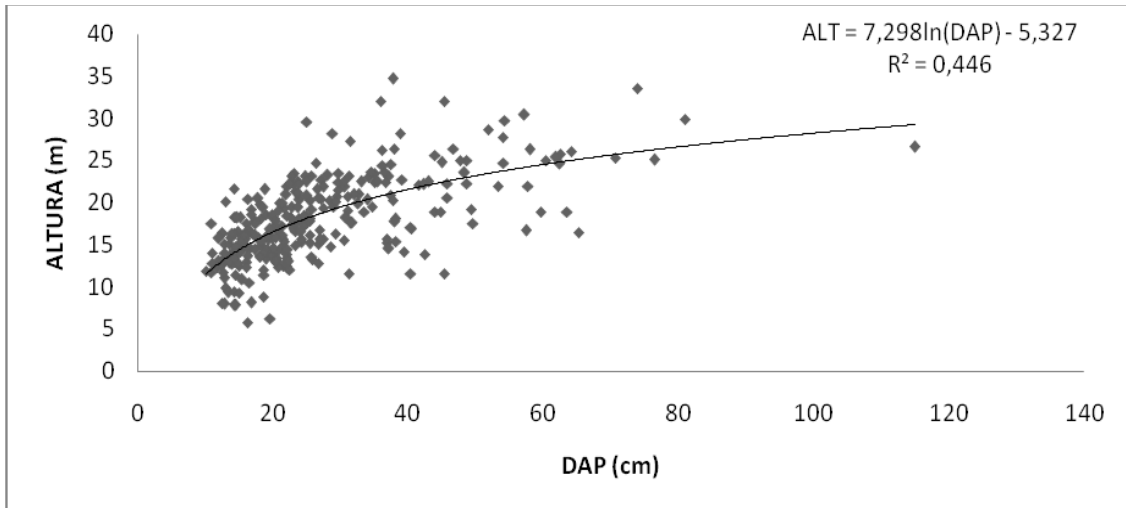


Figura 4: Relacionando altura (m) com DAP (cm) em terra-firme na RDSA.

O DAP explica 45% da variabilidade da altura (Figura 4). A equação gerada pelo Gráfico nos permitiu determinar alturas dos indivíduos não estimadas com dados coletados com hipsômetro ainda em campo.

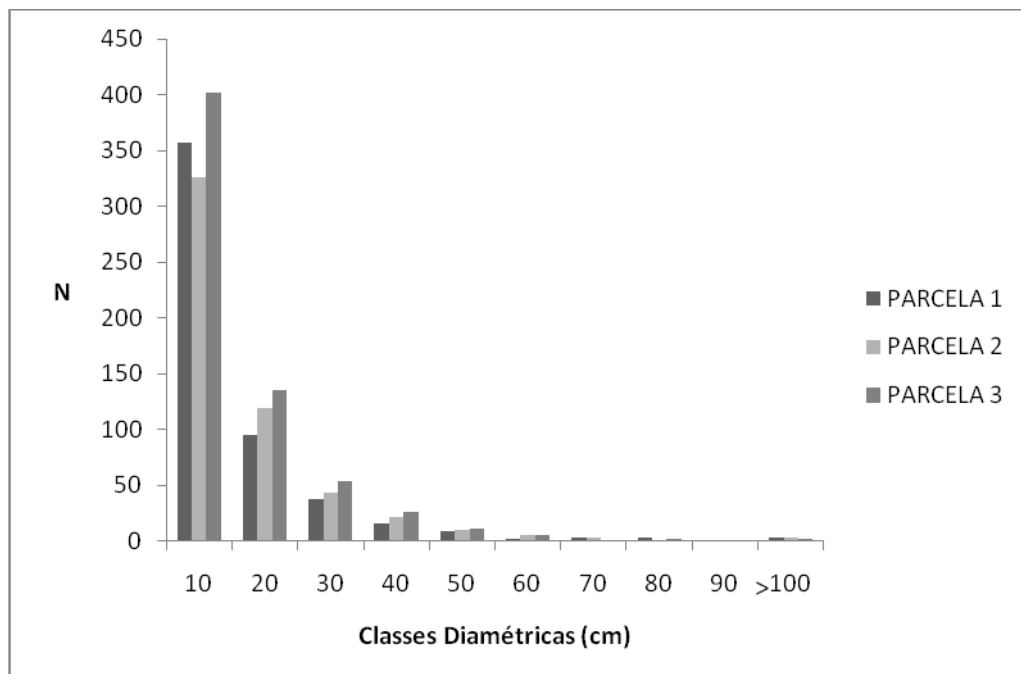


Figura 5: Distribuição da densidade (N) com seu desvio padrão por classes diamétricas (cm) nas três parcelas em terra-firme da RDSA.

Como é típica para florestas nativas a distribuição da densidade de indivíduos por classes diamétricas de 10 cm apresenta a forma do J invertida (ver imagem Figura 5). A classe diamétrica 10-19,9 cm abriga 64%, 60% e 62% dos indivíduos para as parcelas 1, 2 e 3 respectivamente. O restante se distribui em quantias que decrescem à medida que aumenta o DAP.

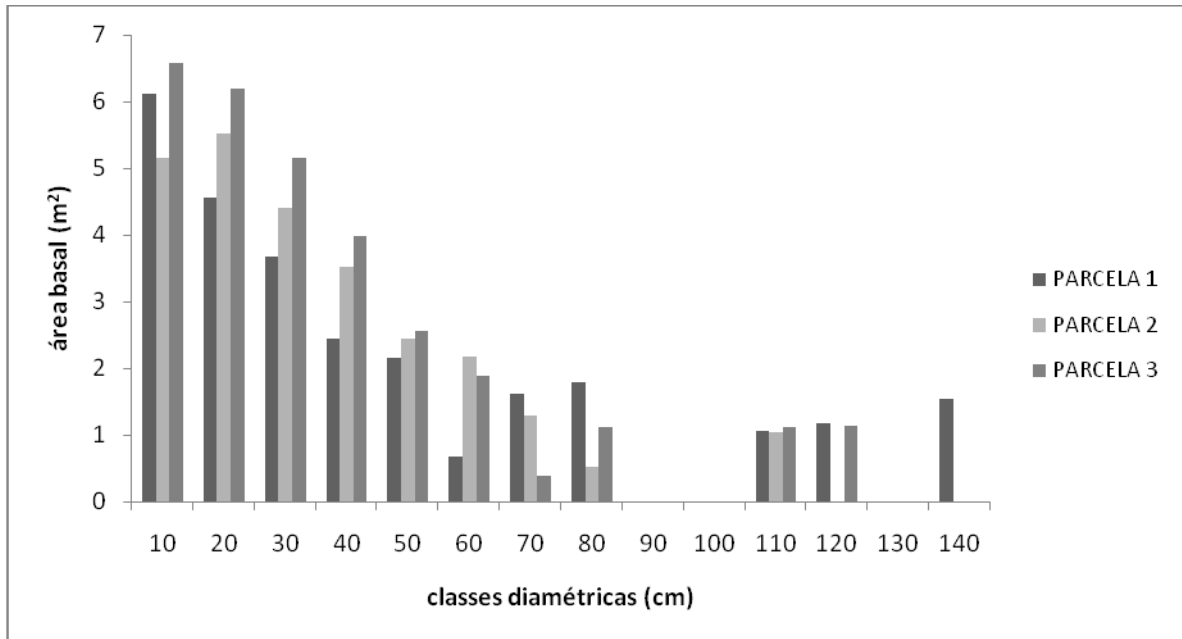


Figura 6: Distribuição da área basal (m^2) por classes diamétricas (cm) para as três parcelas em terra-firme da RDSA.

Na figura 6 pode-se verificar que as primeiras duas classes diamétricas abrangem 40-43% da área basal total. As últimas classes diamétricas, embora com poucos emergentes, estes detem em torno de 10% da biomassa (Figura 10)

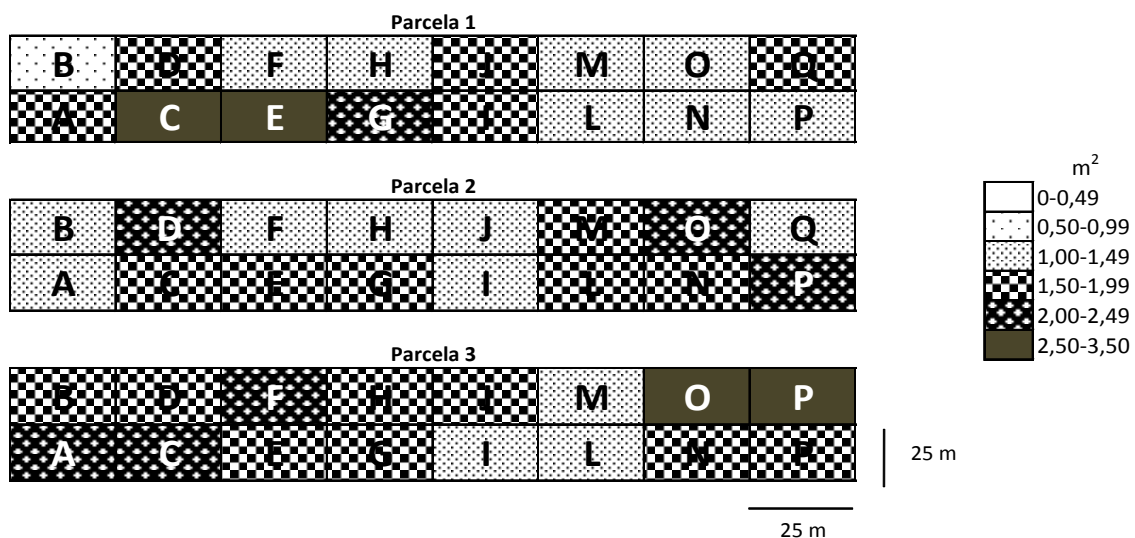


Figura 7: Distribuição da área basal nas subparcelas em cada parcela estabelecida na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã

Tabela 4: Matriz de correlação (r) entre diâmetro a altura do peito (DAP), densidade da madeira (DM), incremento radial anual (INC) e idade. Dados do inventário e análises dendrocronológicas obtidos a partir da Parcela 2. Não houve relação entre DAP e DM.

	DAP	DM	INC
Idade	0,6428 p=0,000	0,3815 p=0,000	-0,3755 p=0,000
DAP		-0,0092 p=0,913	0,2524 p=0,002
DM			-0,4840 p=0,000

A partir da equação gerada pelo modelo de regressão múltipla, pôde-se estimar a idade de todos os indivíduos para as três parcelas bem como obter o DAP do ano anterior. A regressão gerou uma equação que possibilitou determinar as idades de todos os indivíduos inventariados, com DAP acima de 10 cm. O indivíduo com maior idade anuncia a idade da área em estudo e na Parcela 1 estimou-se 295 anos, na Parcela 2 estimou-se 250 anos e por último na Parcela 3 estimou-se 259 anos.

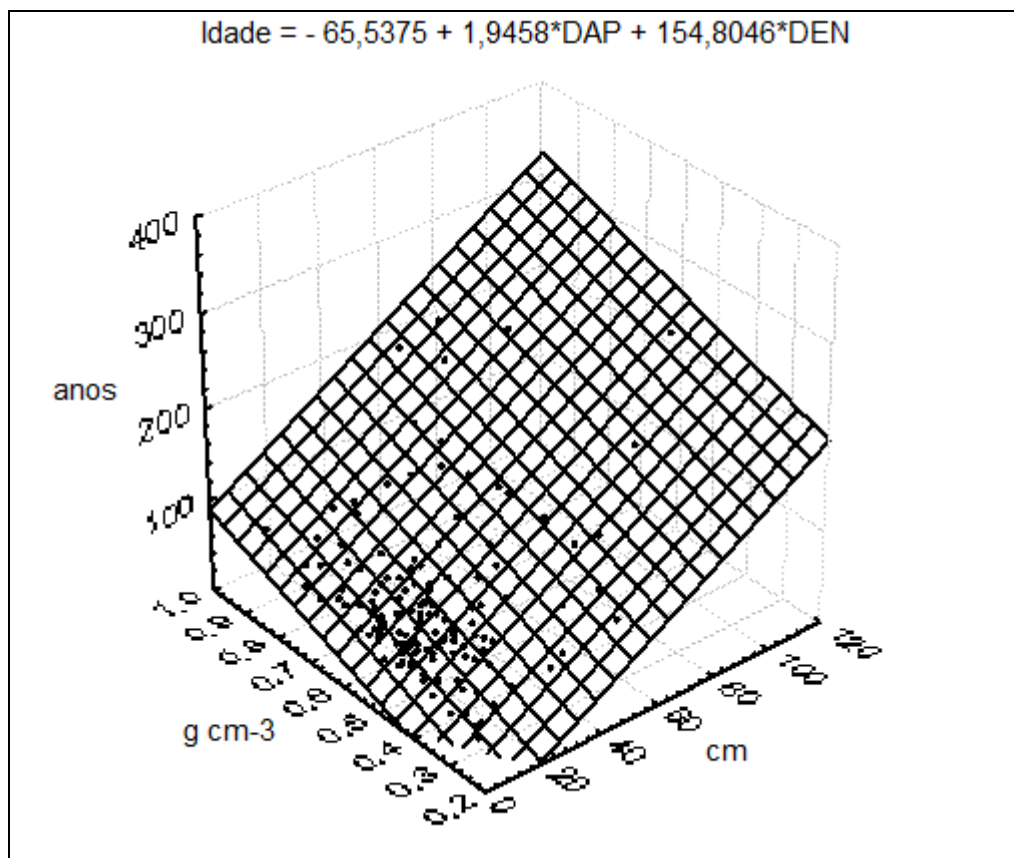


Figura 8: Modelo de regressão múltipla para prever a idade (eixo Z, parâmetro dependente) através das variáveis independentes densidade da madeira (Y) e diâmetro a altura do peito (x). A partir desse modelo pode-se estimar a idade de todos os indivíduos para as três parcelas bem como obter o DAP do ano anterior na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.

A regressão gerou uma equação que possibilitou estimar a idades de todos os indivíduos inventariados, com DAP acima de 10 cm. A área de estudo apresentou idade de 250- 295. A parcela 1 é 12% mais velha que a parcela 3 e 15% mais velha que a parcela 2.

As espécies que alcançaram maior idade na parcela 2 foram *Goupia glabra* (Goupiaceae) seguida por *Dialium guianense* (Fabaceae) (Tabela 3), esses resultados foram gerados pelas análises anatômicas.

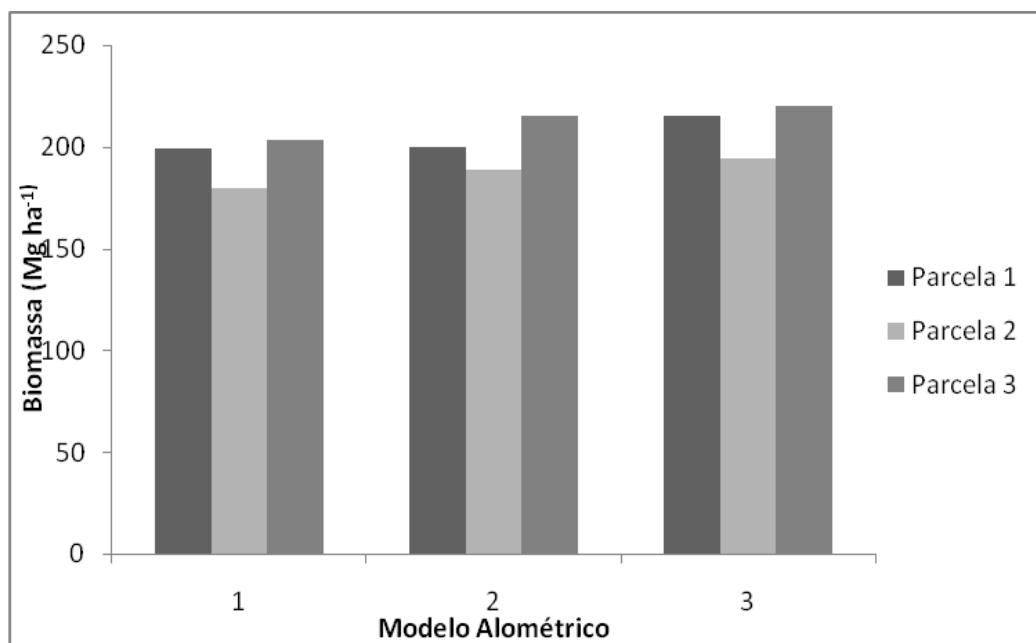


Figura 9: Comparação da distribuição de biomassa acima do solo (Mg ha^{-1}) nas três parcelas em terra-firme na RDSA utilizando os três modelos alométricos.

Os modelos 1-3 que consideram 3 parâmetros independentes indicam pequenas variações nas estimativas de biomassa lenhosa nas 3 parcelas. A menor variação ocorreu entre os modelos 1 e 2 na parcela 1 com de menos que 0,5% e a maior diferença de estimativas ocorreu entre os modelos 2 e 3 com 7% na mesma parcela (ver Figura 9 e Tabela 5). De acordo com Schöngart *et al.* (em prensa) e Stadler (2007). As diferenças de estimativas ao usar os tres modelos se apresentou irrelevante.

Tabela 5: Resultados de estimativas de biomassa total acima do solo para cada parcela em terra-firme na RDSA, utilizando três modelos propostos (valores em kg ha^{-1}).

PARCELA	MOD 1	MOD 2	MOD 3
1	199207	199689	215169
2	179995	188561	194418
3	203675	215067	219996

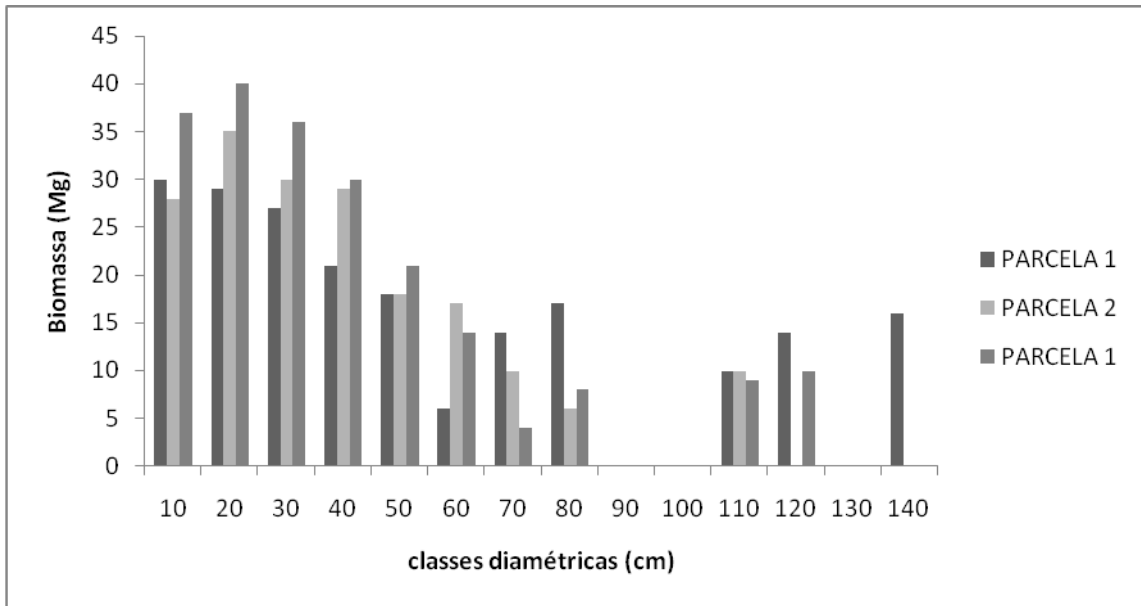


Figura 10: Distribuição da Biomassa (Mg/ha) por classes diamétricas (cm) em cada parcela na terra-firme da Reserva de desenvolvimento Sustentável Amanã. Este é o resultado da média dos modelos 1, 2 e 3 que utilizam as variáveis DAP, altura e densidade da madeira.

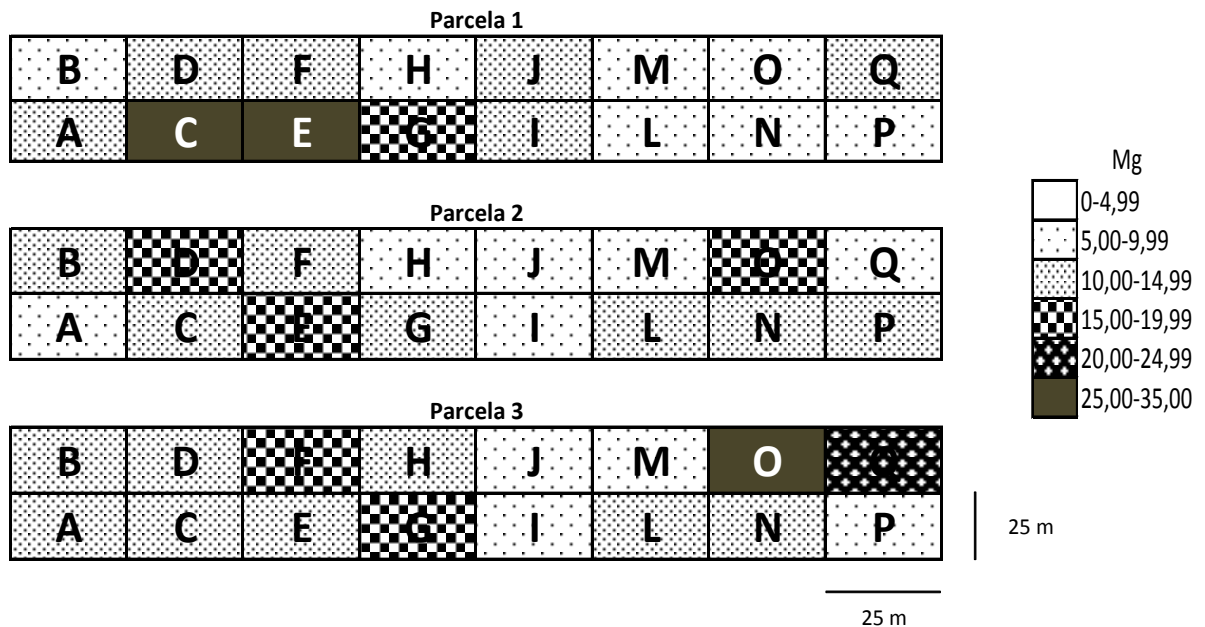


Figura 11: Distribuição da biomassa acima do solo por subparcelas em cada parcela da terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.

A maioria da biomassa lenhosa concentra-se em classes diamétricas baixas. Árvores com DAP menos de 30 cm abrangem 43-54% da biomassa lenhosa total. Porém árvores emergentes nas classes diamétricas acima de 100 cm podem acumular mais de 10 Mg de biomassa lenhosa aérea (Figura 10).

Com o mesmo formato para mostrar a distribuição da área basal na Figura 7, a Figura 11 apresenta a distribuição da biomassa nas subparcelas das três parcelas. A relação observada entre as distribuições da área basal e da biomassa foi de 75%.

O estoque de carbono (Figura 13) equivale a 50% da biomassa média estimada pelos modelos alométricos 1-3 (Figura 12, sendo que a parcela 1 sequestrou $2,4 \text{ Mg C há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o turnover ou tempo de residência deste carbono foi estimado em 43 anos. A parcela 2 sequestrou $2,6 \text{ Mg C há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o carbono permanece estocado por 35,6 anos. A parcela 3 sequestrou $3,1 \text{ Mg C há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e este permanece estocado durante 34,5 anos.

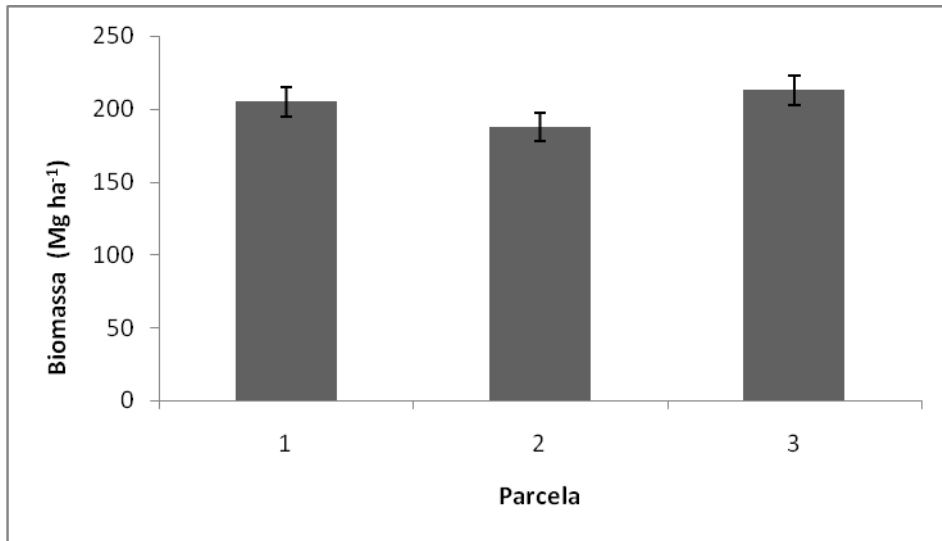


Figura 12: Biomassa acima do solo em cada parcela. Terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã. Este é o resultado da média dos modelos 1,2 e 3 que utilizam as variáveis DAP, altura e densidade da madeira.

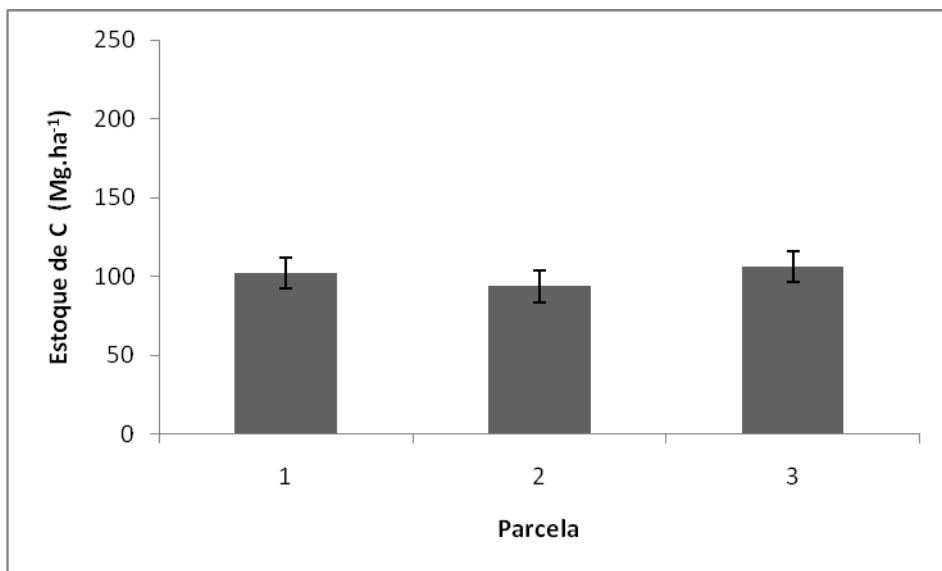


Figura 13: Estoque de carbono acima do solo contido em cada parcela na terra-firme da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã.

Este é o resultado da média dos modelos 1, 2 e 3 que utilizam as variáveis DAP, altura e densidade da madeira.

6. Discussão

Estimar biomassa lenhosa acima do solo requer um estudo cuidadoso para se escolher o modelo alométrico mais acurado, para isso deve-se levar em consideração o tamanho da área bem como o maior número de dados extraídos de inventários. Clark *et al.* (2001) dizem que pequenos *plots* podem superestimar as estimativas de biomassa. Andrade & Higuchi (2009) resumem que numa floresta com enorme biodiversidade de flora, as estimativas de biomassa também variam conforme a espécie, pois estas respondem de maneira diferente às mesmas condições ambientais.

Para o presente trabalho os critérios de escolha visavam comparar as previsões desta área utilizando os mesmos modelos já apresentados em trabalhos anteriores (Malhi *et al.*, 2006; Saatchi *et al.*, 2007; e Stadtler, 2007). E se tratando de modelos e a devida importância dada aos parâmetros, a seguir analisemos em suma cada parâmetro:

- (i) A relação mostrada entre a área basal e a biomassa concorda com resultados de Malhi *et al.* (2004, 2006), onde ambos são proporcionais (ver Figuras 7 e 11). Ainda em Malhi *et al.* (2004) deu-se uma grande importância em mostrar a relação da área basal com a produtividade onde ambas são inversamente proporcionais;
- (ii) Embora não dada a devida importância nesse trabalho como fora com a área basal, a densidade da madeira é alvo de discussão em se tratando de estimativas de biomassa (Chambers *et al.* 2001; Chave *et al.* 2005). Baker *et al.* (2004b) afirmam a notória diferença de arquitetura entre árvores de baixa densidade e alta densidade da madeira. Schöngart (2003) notou nos estádios sucessionais da várzea o aumento da densidade da madeira em relação à idade da floresta;
- (iii) Um parâmetro ainda pouco estudado, ainda que, como a área basal e a densidade da madeira, pode sofrer variações provocadas pela precipitação local ou mesmo pela genética da planta. Sua importância não muito mencionada em trabalhos a não ser pela ordem de importância inferior em relação aos outros parâmetros citados aqui (ver Chave *et al.* 2005).

Alguns dados florísticos comparados com resultados desse trabalho (ver Tabela 6) mostram a proximidade de características da terra firme da RDSA e várzea da RDSM, inclusive os dados de biomassa e produtividade anual de biomassa.

Os resultados de biomassa estimados nesse trabalho estão abaixo das previsões de Malhi *et al.* (2006) e Saatchi *et al.* (2007), e como ambos utilizaram dados de inventários em poucos plotes, 227 e 544 respectivamente (relativamente poucos quando se comprara com a área que abrange a Amazônia) e projetaram as estimativas para toda a Amazônia incluindo a área da RDSA, isso pode ter causado a superestimativa dos valores nesta região.

Tabela 6: Comparação de biomassa e produtividade de florestas maduras, de alguns trabalhos com esse estudo.

	Esse Estudo	Stadler (2007)	Schöngart <i>et al.</i> (em prensa)	Chambers <i>et al.</i> (2001)	Malhi <i>et al.</i> (2004/2006)	Teixeira <i>et al.</i> (2007)
Tipo de Floresta	Terra firme (RDSA)	Igapó (RDSA)	Várzea (RDSM)	Terra firme (Am Central)	Terra firme	Terra firme (Am Central)
Nº spp	157	45	111	300		
Nº Ind	1757	100	462	315		
m ² /ha	27		27		30	
Idade	295	337	240			
g cm ⁻³	0,58	0,61	0,70		0,64	
Mg ha ⁻¹	212	214	239	324	293	519
Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	5,4	3,3	8,8	4,1	5,3	

Chambers *et al.* (2001) determinaram o sequestro de carbono em aproximadamente 2 Mg há⁻¹ano⁻¹ em floresta de terra-firme na Amazônia Central. Stadler (2007) determinou em igapó da RDSA um sequestro de 1,2-2,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de carbono. Schöngart *et al.* (em prensa) determinou em várzea RDSM um acréscimo de 4,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de carbono. Este trabalho 2,4-3,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de

carbono. Esses dados anunciam uma elevada capacidade de sequestrar carbono ao ano nas florestas de terra-firme da RDSA.

A terra-firme da RDS Amanã é considerada uma paleovárzea (terraços fluviais antigos de várzeas). Os solos destas paleovárzeas possuem mais nutrientes que as formações de terra-firme próximo a região de Manaus. Porém algum fator limita o estoque das florestas de paleovárzea podendo chegar a mesma quantidade de carbono determinada nas formações antigas de terra-firme. Em comparação com florestas maduras de várzea as paleovárzeas têm uma quantidade de biomassa lenhosa semelhantes e também uma produtividade semelhante. Comparando com o igapó (RDS Amanã, Stadtler (2007) as paleovárzeas apresentam estoques de biomassa similares, porém são mais produtivos do que o igapó, provavelmente devido à inundação por vários meses que afeta o crescimento em diâmetro durante a fase aquática (Worbes 1989; Schöngart *et al.* 2002, 2004).

Existem diversas evidências que convergem para explicar que a área de estudo em questão é cenário de um antigo terraço aluvial (paleovárzea):

- (a) O trabalho de Machado (2010) mostra a similaridade da flora da terra-firme da RDSA com a várzea da RDSM, segunda ela há significativa similaridade com trabalhos realizados em várzea, especificamente em relação aos trabalhos de Urrego (1997) e Wittmann *et al.* (2006);
- (b) Peixoto *et al.* (2009) mostraram, através do monitoramento via satélite, que os leitos dos rios de água branca, como o Japurá, migram. Os resultados indicam alta atividade de sedimentação e erosão nestes rios. Como resultado da sedimentação, ocorrem a formação das florestas de várzea seguindo os estágios sucessionais. Essa sedimentação, continuando, caracteriza uma geomorfologia com formato de cebola. Tal característica pode ser observada via satélite. O canal do Japurá que esta a poucos Km de distancia do lago Amanã, continua a se distanciar cerca de 1,2% ao ano do seu próprio leito. Isso evidencia que o lago Amanã já foi seu antigo leito;
- (c) E por último, mas não menos importante, é a similaridade da dinâmica do carbono nesta terra firme da RDSA com a dinâmica do carbono na várzea da RDSM apresentados nesse trabalho.

7. Conclusões

Os dados fornecidos pelo inventário florísticos resultaram em semelhanças de características tanto de florestas de terra-firme próximas à Manaus quanto de florestas de várzea da RDSM;

Os modelos anatômicos característicos da floresta de terra-firme da RDSA são: tipo I (densidade da madeira); tipo II (parênquima marginal); e tipo III (alternância entre faixas de fibra e parênquima);

Os métodos de extrapolação de resultados de biomassa para a região da RDSA superestimam os valores calculados exclusivamente nessa região e apresentados nesse trabalho;

Florestas maduras da terra-firme da RDSA possuem baixa biomassa, baixo estoque de carbono, moderado tempo de residência do carbono, porém alta produtividade anual;

A similaridade da produtividade e tempo de residência do carbono nas florestas de terra-firme da RDSA com as de várzea da RDSM as caracterizam como paleovárzeas;

Como há alta produtividade anual na terra-firme da RDSA, porém baixa capacidade de estocar carbono, a interferência da exploração madeireira poderia comprometer a dinâmica do carbono local, ou seja, a prática da conservação já efetuada no local deverá ser mantida.

8. Referências Bibliográficas

- Andrade, E. A. & Higuchi, N. 2009. Produtividade de quatro espécies arbóreas de Terra Firme da Amazônia Central. *Acta Amazônica*. Vol. 39 (1) 2009: 105-112.
- Ayres, J.M. 1993. As matas de várzea do Mamirauá. MCT/CNPq/Sociedade Civil Mamirauá, Brasília, Distrito Federal. 123pp.
- Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Di Fiori, A.; Erwin, T.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Pitman, N.C.A.; Silva, J.N.M.; Martínez, R.V. 2004b. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 359: 353-365.
- Brown, I.F.; Higuchi, N.; Santos, J.; Wofsy, S.C.; Trumbore, S.E.; Martinelli, L.A. 2004b. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forest. *Oecologia*, 140: 468-479.
- Brienen, R. J. W. & Zuidema, P. A. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*.
- Brienen, R. J. W. & Zuidema, P. A. 2006. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology* 94, 481–493.
- Brown, S.; Gillespie, A. J. R. e Lugo, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4):881-902, 1989.
- Brown, S. 1998. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. *FAO Forestry Paper* 13. FAO, Rome.
- Brown, S. & Lugo, A. E. 1992 Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management*. Vol. 54, no. 1-4, pp. 239-255. 1992.
- Cannell, M.G.R. 1984. Woody biomass of forest stands. *Forest Ecology and Management*, 8: 299-312.
- Chambers, J.Q.; Santos, J.; Ribeiro, R.J.; Higuchi, N. 2001. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 152: 73-84.
- Chapin III, F. S.; Woodwell, G. M.; Randerson, J. T.; Rastetter, E. B.; Lovett, G. M.; Baldocchi, D. D.; Clark, D. A.; Harmon, M. E.; Schimel, D. S.; Valentini, R.; Wirth, C.; Aber, J. D.; Cole, J. J.; Goulden, M. L.; Harden, J. W.; Heimann, M;

- Howarth, W.; Matson, P.A.; McGuire, A. D.; Melillo, J. M.; Mooney, H.A. ; Neff, J. C.; Houghton, R. A.; Pace, M. L.; Ryan, M. G.; Running, S. W.; Sala, O. E.; Schlesinger, W. H.; and Schulze, E. D. 2006. Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods. *Ecosystems* 9: 1041–1050.
- Chave, J.; Condit, R.; Lao, S.; Caspersen, J.P.; Foster, R.B.; Hubbell, S.P. 2003. Spatial and temporal variation of biomass in a tropical forest: results from a large census plot in Panama. *Journal of Ecology*, 91: 240-252.
- Chave, J.; Condit, R.; Aguilar, S.; Hernandez, A.; Lao, S.; Perez, R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 359: 409-420.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M.A.; Chambers, J.Q.; Eamus, D.; Fölster, H.; Fromard, F.; Higuchi, N.; Kira, T.; Lescure, J.-P.; 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.
- Clark, D.A.; Brown, S.; Kicklighter, D.W.; Chambers, J.K.; Thomlinson, J.R.; Ni, J.; Holland, E.A. 2001a. Net primary production in tropical forest: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11: 371-384.
- Clark, D.A.; Brown, S.; Kicklighter, D.W.; Chambers, J.Q.; Thomlinson, J.R.; Ni, J. 2001b. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11: 356-370.
- Clark DA. 2002. Are tropical forests an important carbon sink? Reanalysis of the long-term plot data. *Ecol Appl* 12: 3–7.
- Clark DA. 2004. Tropical forests and global warming: slowing it down or speeding it up? *Front Ecology Environ.* 2(2): 73–80.
- Coster, C. 1927. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresringbildung in den Tropen. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg*, 37: 49-161.
- Dunisch O, Montoia VR, Bauch J (2003) Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees-Struct Funct* 17:244–250.
- Fearnside P.M. 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, 35, 321–360.

- Fearnside P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazônica*. Vol. 36(3) 2006: 395 – 400.
- Foley J. A.; Costa, M. H.; Delire, C; Ramankutty, N; and Snyder, S. 2003. *Ecology Environ.* 1(1): 38–44.
- Hopkins, M. J. G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia* 56 (86): 9-25.
- IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel 25 on Climate Change (IPCC), WMO/UNEP, 18 pp., 2007.
- Junk W.J. 1993. Wetlands of Tropical South America. In: Whigham D., Hejny S. and Dykyjova D. (eds), *Wetlands of the World*, Dr W. Junk Publ., Dordrecht, Boston, Lancaster, pp. 679–739.
- Junk W.J. 1996. Ecology of floodplains – a challenge for tropical limnology. In: Schiemer F. and Boland K.T. (eds), *Perspectives in Tropical Limnology*, SPB Academic Publishing, Amsterdam, The Netherlands, pp. 255–267.
- Junk W.J. 1997. *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Ecological Studies, vol. 126, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 525 pp.
- Junk W.J. 1999. The flood pulse concept of large rivers: learning from the tropics. *Archiv für Hydrobiologie*, Suppl. 115(3): 261–280.
- Junk, W.J.; Ohly, J.J.; Piedade, M.T.F.; Soares, M.G.M. 2000. *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management*. Backhuys Publishers b.V., Leiden. 590 pp.
- Klinge, H.; Rodrigues, W. 1971. Matéria orgânica e nutrientes na mata de terra firme perto de Manaus. *Acta Amazônica (Brasil)*. v. 1(1) p. 69-72.
- Machado, K. S. da S. 2010. *Dissertação de Mestrado em redação*. Manaus: INPA.
- Malhi, Y.; Baker, T.R.; Phillips, O.L.; Almeida, S.; Alvarez, E.; Arroyo, L.; Chave, J.; Czimczik, C.I.; Di Fiori, A.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Montoya, L.M.M.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Patiño, S.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Martínez, R.V.; Terborgh, J.; Vinceti, B.; Lloyd, J. 2004.

- The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. *Global Change Biology*, 10: 563-591.
- Malhi, Y.; Wright, J.; Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 359, 311 (2004).
- Malhi, Y., Wood, D.; Baker, T.R.; Wright, J.; Phillips, O.L.; Cochrane, T.; Meir, P.; Chave, J.; Almeida, S.; Arroyo, L.; Higuchi, N.; Killeen, T.J.; Laurance, S.G.; Laurance, W.F.; Lewis, S.L.; Monteagudo, A.; Neill, D.A.; Vargas, P.N.; Pitman, N.C.A.; Quesada, C.A.; Salomão, R.; Silva, J.N.M.; Lezama, A.T.; Terborgh, J.; Martínez, R.V.; Vinceti, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forest. *Global Change Biology*, 12: 1-32.
- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li W.; Nobre, C. A. 2008. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*. v 319. 169-172.
- Marengo, J, Jones, R. Alves, Valverde, M., (2008) Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the Precis regional climate modeling system, submitted to Int. J. Climatology.
- Nebel, G.; Dragsted, J.; Vega, A.S. 2001. Litter fall, biomass and net primary production in flood plain forest in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 150: 93-102.
- Oyama, M. D.; Nobre, C. A. 2003. *Geophys. Res. Lett.* 30, 2199.
- Parolin, P.; Ferreira, L.V. 1998. Are there differences in specific wood gravities between trees in varzea and igapo (Central Amazonia)? *Ecotropica*, 4: 25-32.
- Peixoto, J. M. A.; Nelson, B. W.; Wittmann, F. 2009. Spatial and temporal dynamics of river channel migration and vegetation in central Amazonian white-water floodplains by remote-sensing techniques. *Remote Sensing of Environment* 113: 2258–2266.
- Phillips, O.L.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Laurance, W.F.; Núñez, P.V.; Vásquez, R.M.; Laurance, S.G.; Ferreira, L.V.; Stern, M.; Brown, S.; Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence of long-term plots. *Science*, 282: 439-442.
- Phillips, O. L.; Aragão, L. E. O. C.; Lewis, S. L.; Fisher, J. B.; Lloyd, J. López-González, G.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Peacock, J.; Quesada, C. A.; van der Heijden, G.; Almeida, S.; Amaral, I.; Arroyo, L.; Aymard, G.; Baker, T. R.; Bánki, O.; Blanc, L.; Bonal, D.; Brando, P.; Chave, J.; Oliveira, Á. C. A;

- Cardozo, N. D.; Czimczik, C. I.; Feldpausch, T. R.; Freitas, M. A.; Gloor, E.; Higuchi, N.; Jiménez, E.; Lloyd, G.; Meir, P.; Mendoza, C.; Morel, A.; Neill, D. A.; Nepstad, D.; Patiño, S.; Peñuela, M. C.; Prieto, A.; Ramírez, F.; Schwarz, M.; Silva, J.; Silveira, M.; Thomas, A. S.; ter Steege, H.; Stropp, J.; Vásquez, R.; Zelazowski, P.; Dávila, E. A.; Andelman, S.; Andrade, A.; Chao, K-J; Erwin, T.; Di Fiore, A.; Honorio C. E.; Keeling, H.; Killeen, T. J.; Laurance, W. F.; Cruz, A. P.; Pitman, N. C. A.; Vargas, P. N.; Ramírez-Angulo, H.; Rudas, A.; Salamão, R.; Silva, N.; Terborgh, J.; Torres-Lezama, A. 2009. *Science*. Vol. 323, 1344.
- Pires J. M. 1973. Plantas ictiotóxicas, aspectos da Botânica Sistemática. Sessão Integrada (timbós). *Ciência e Cultura*, São Paulo, 26(7):56-61.
- Pires, J. M. & Prance, G. T. Chapter 7: The Vegetation Types of the Brazilian Amazon. Pag. 109-145. *In: Prance, G. T. & Lovejoy, T. E. (Eds). 1985. Key Environments: Amazonia*. Ed. First. Pergamon Press.
- Prance, G. 1980. A terminologia dos tipos de florestas Amazônicas sujeitos à inundação. *Acta Amazonica*, 10: 495-504.
- Prentice I.C. & Lloyd J 1998. C-quest in the Amazon Basin. *Nature* 396: 619-620.
- Prentice IC, Farquhar GD, Fasham MJR, *et al.* 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. *In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, et al. (Eds). Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge, UK; Cambridge University Press.
- Queiroz, H. 2005. A criação da Reserva Amanã: um importante estágio para a consolidação do embrião do Corredor Central da Amazônia. *In: Ayres, J.A.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B.; Queiroz, H.L.; Pinto, L.P.; Masterson, D.; Cavalcanti, R.B. (Eds). Os Corredores Ecológicos das Florestas Tropicais do Brasil*. Sociedade Civil Mamirauá, Belém, Pará. p. 246-249.
- Rodrigues, R. 2007. Diversidade florística, estrutura da comunidade arbórea e suas relações com variáveis ambientais ao longo do lago Amanã (RDSA), Amazônia Central. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 68pp.
- Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J.L., de Miranda Chaves, A.G., Guimarães, V., de Oliveira, E., 2002. Interannual rainfall variability in the

- Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology* 22, 1663–1686.
- Ribeiro, J.E.L. da S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A. da S.; Brito, J.M. de; Souza, M.A.D. de; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E. da C.; Silva, C.F. da; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. INPA, Manaus. 816p.
- Roy, R.; Saugier, B.; Mooney, H.A. 2001. *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, San Diego. 573pp.
- Saatchi S. S.; Houghton, R. A.; Santos, R. C; Soares, J. V; Yu, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin. *Global Change Biology*. 13, 816–837.
- Sombroek, W., 2001. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall. *Ambio* 30, 388–396.
- Schöngart, J.: Dendrochronologische Untersuchungen in U" berschwemmungswa" ldern der Várzea Zentralamazoniens, *Gottinger Beitrage zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 149, Erich Goltze Verlag, 257 pp., 2003.
- Schöngart, J., Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Ayres. J. M., Huttermann, A., and Worbes, M.: Teleconnection between Tree Growth in the Amazonian Floodplains and the El Niño- Southern Oscillation Effect, *Glob. Change Biol.*, 10, 683–692, 2004.
- Schöngart, J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Junk, W. J., and Worbes, M.: Wood growth 20 patterns of *Macrobium acacifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae), in: Amazonian black-water and white-water floodplain forests, *Oecologia*, 145, 654–661, 2005.
- Schöngart, J., Orthmann, B., Hennenberg, K. J., Porembski, S., and Worbes, M.: Climate growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction, *Glob. Change Biol.*, 12, 1139–1150, 2006. 25.
- Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M., Piedade, M. T. F., Krambeck, H.-J., and Junk, W. J.: Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in

- Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis, *Ann. For. Sci.*, 64, 657–664, 2007.
- Schöngart, J.; Arieira, J; Felfili Fortes, C.; Arruda, E. C. and Cunha, C.N. 2008. Carbon dynamics in aboveground coars wood biomass of wetland forests in th northern Pantanal, Brazil. *Biogeosciences Discuss.*, 5, 2103–2130.
- Shubart, H. O. R., Capítulo III: Ecologia e Utilização das Florestas. Pag. 101-143. *In: Salati, E., Junk, W. J., Shubart, H. O. R. & Oliveira, A. E. (Eds). 1983. Amazônia: Desenvolvimento, Integração e Ecologia. Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. São Paulo.*
- Silva, R.M. 2004. *Variações físico-químicas espaciais e sazonais e sua relação com as macrófitas aquáticas em dois lagos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amanã – RDSA, Amazônia Central.* Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 100pp.
- Sioli, H. 1954. Beiträge zur regionalen Limnologie des Amazonasgebietes. *Archiv für Hydrobiologie*, 49: 441-518.
- Sioli, H. & Klinge, Hans. 1964. Solos, Tipos de Vegetação e Águas na Amazônia. *In: Boletim Geográfico*. 179: 147-153.
- Stadtler, E. W. C. 2007. Estimativas de biomassa lenhosa, estoque e seqüestro de carbono acima do solo ao longo do gradiente de inundação em uma floresta de igapó alagada por água preta na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado. Manaus: INPA/UFAM.
- Teixeira, L. M.; Chambers, J. Q.; Silva, A. R.; Lima, A. J. N.; Carneiro, V. M. C.; 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 Amazônica*. Vol.37 (3):377-389.
- Tian et al 1998. Thermoelectric power behavior in carbon nanotubule bundles from 4.2 to 300 K. *Physical Review*. B 58, 1166 - 1168 (1998).
- Urrego, G.L.E. 1997. Los bosques inundables del medio Caqueta. Caracterización y sucesión. *Tropenbos Colombia*, Bogota.
- Wittmann, F; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F. 2004. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. *Forest Ecology and Management*, 196: 199-212.

- Wittman, F.; J. Schöngart; J.C. Monteri; T. Motzer; W.J. Junk; M.T.F. Piedade; H.L. Queiroz & M. Worbes. 2006. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*, 33: 1334-1347.
- Whitmore, T. C. 1993. *Tropische Regenwälder. Eine Einführung*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, New York, 275 pp.
- Worbes, M. 1985. Structural and other adaptations to long-term flooding by in Central Amazonia. *Amazoniana*. 9: 459 – 484.
- Worbes, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forest, savannas and mountain forest in the neotropics. *IAWA Bulletin*. 10(2): 109 – 122.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall – dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo forest Reserve in Venezuela. *Journal Ecology*. p. 87. n 3. p.391-403.
- Worbes, M. 2004. *Tree-Ring Analysis*. University of Göttingen, Göttingen, Germany.