

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA INTEGRADO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA TROPICAL E
RECURSOS NATURAIS

**MODELOS DE CRESCIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES MADEIREIRAS DE
FLORESTA DE VÁRZEA DA AMAZÔNIA CENTRAL POR MEIO DE MÉTODOS
DENDROCRONOLÓGICOS**

Sejana Artiaga Rosa

Manaus – AM

Julho, 2008

Sejana Artiaga Rosa

**MODELOS DE CRESCIMENTO DE QUATRO ESPÉCIES MADEIREIRAS DE
FLORESTA DE VÁRZEA DA AMAZÔNIA CENTRAL POR MEIO DE MÉTODOS
DENDROCRONOLÓGICOS**

Orientador: Dr. Jochen Schöngart

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós – Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em BOTÂNICA.

Manaus – AM

Julho, 2008

R788

Rosa, Sejana Artiaga

Modelos de crescimento de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea da Amazônica Central / Sejana Artiaga Rosa .--- Manaus : [s.n.], 2008.

77f. : il.

Dissertação (mestrado) --- INPA/UFAM, Manaus, 2008

Orientador: Jochen Schöngart

Área de concentração: Botânica

1. Dendrocronologia. 2. Crescimento arbóreo. 3. Manejo florestal.
I. Título.

CDD 19. ed. 634.9285

Sinopse:

Estudou-se a dinâmica de crescimento arbóreo de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá por meio de análise de anéis anuais na madeira, para subsidiar planos de manejo florestal.

Palavras-chave:

Dendrocronologia, anéis de crescimento, florestas de várzea, manejo florestal.

Agradecimentos

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, ao Programa Integrado de Pós – Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais INPA/UFAM e à Coordenação do curso de Botânica pelo apoio acadêmico e infra – estrutura obtida para a realização do curso de Pós – graduação em Botânica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pela bolsa de estudo concedida durante o curso de Pós – Graduação.

Ao convênio INPA/Max-Planck pelo apoio financeiro e estrutural oferecido. Ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá pela estrutura física disponibilizada para a realização das coletas de campo. Aos mateiros Jackson e Zé Pretinho, aos barqueiros Mário e Agenor e à cozinheira dona Lene, os quais foram de fundamental para a execução deste trabalho.

Agradeço especialmente ao meu orientador Dr. Jochen Schöngart pelo apoio científico, pela ajuda nos momentos difíceis, ensinamentos e amizade.

Aos amigos que contribuíram com meu aprendizado nesta etapa da vida. Agradeço àqueles que estão longe: Anamaria, Luciana, Mateus, Ohana, Wellington, Nárgila. Agradeço principalmente à Mirelle, que me ensinou o valor da amizade verdadeira. Aos amigos que fiz em Manaus durante o mestrado: Liliane, Ana Paula, Valdete, Thaysa, Carla, Taciana e Leila. Aos alunos e amigos do mestrado Mário Terra, Mário Fernandes, André e Rafael pelas dicas e apoio durante o curso.

Aos integrantes do Projeto INPA/Max-Planck: Tereza, Celso, Lúcia, Auristela, Maria Astrid, Edvaldo, Wallace e Valdeney, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste projeto. À Dra. Maria Teresa Fernandez Piedade, ao Dr. Florian Wittman e ao Dr. Wolfgang Junk por serem fonte de inspiração.

À minha mãe Oni Artiaga da Rosa e ao meu pai Pedro Bolívar Artiaga da Rosa, por tudo que sou e por tudo que tenho conquistado. Aos irmãos Luiz Adriano, Sérgio Renato, Suyana e Suyara por tudo que têm feito por mim.

Resumo

A exploração madeireira tem papel de destaque nas Florestas de Várzea devido à facilidade de acesso aos recursos, alta abundância natural de espécies madeireiras e tipo de operação de extração acarretando baixos custos da madeira. Atualmente os planos de manejo florestal são baseados em normas restritivas de ciclos de corte entre 25 e 35 anos e diâmetro mínimo de derrubada (DMD) de 50 cm, o que têm ocasionado superexploração e subutilização do potencial madeireiro. Neste sentido, a Dendrocronologia, método baseado na análise de anéis anuais na madeira, torna-se importante ferramenta, fornecendo dados de longos períodos de crescimento e estimativas acuradas da idade das árvores, para o entendimento da dinâmica da floresta e desenvolvimento de sistemas de manejo florestal sustentados. Este trabalho teve como objetivo modelar padrões de crescimento da madeira de *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae), *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), *Ocotea cymbarum* Mez (Lauraceae), *Sterculia elata* Ducke. (Malvaceae), espécies de importância econômica na exploração madeireira das Florestas de Várzea da Amazônia, para definir ciclos de corte e diâmetro mínimo de derrubada subsidiando futuros planos de manejo florestal sustentável dentro da MRDS. Para tanto, foram selecionados 20 indivíduos de cada espécie e feitas medidas do diâmetro na altura do peito (DAP) com ≥ 10 cm e estimativas da altura das árvores. Amostras de 5 mm de diâmetro da madeira foram coletadas com auxílio de broca dendrocronológica, coladas em suporte de madeira e lixadas em seqüência progressiva até granulação de 600. As análises foram realizadas no Laboratório de Dendrocronologia do Projeto INPA/Max-Planck em Manaus. A determinação da idade foi feita por contagem direta dos anéis e taxas de incremento radial foram geradas por medições da largura dos anéis com o sistema de análise digital com precisão de 0,01 mm (LINTAB), permitindo construção de curvas cumulativas do diâmetro médio para cada indivíduo. Os resultados mostram que as quatro espécies apresentam comportamentos de crescimento arbóreo diferenciados.

Abstract

Timber harvesting is an important economic activity in nutrient-rich floodplain forests (várzea) of Central Amazonia. In the Western Amazon basin of Brazil and Peru, access to terra firme forests is restricted due to the absence of a road network. Still, 60–90% of the local and regional markets are provided with timber obtained from the floodplain forests. Costs for logging are lower in the floodplain forests (US\$ 6.73 m⁻³) as in the non-flooded terra firme forests (US\$ 14.32 m⁻³) due to the easier access and lower energy costs. Timber harvesting is based on a forest management plan applying felling cycles of 25-35 year and diameter cutting limits of 50 cm. Tree-ring analysis (dendrochronology) is a powerful tool to determine tree ages and wood growth providing data for long-term growth patterns and forest dynamic as a basis for the development of sustainable forest management systems. This study aims to model growth patterns of *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae), *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), *Ocotea cymbarum* Mez (Lauraceae), and *Sterculia elata* Ducke. (Malvaceae), tree species of commercial importance in the central Amazonian várzea. Based on the growth patterns species-specific felling cycles and minimum logging diameter are estimated to support the development of future management plans towards sustainability in the Mamirauá Reserve of Sustainable Development (MRSD). From every tree species tree heights and diameter at breast height ≥ 10cm were measured from 20 individuals. A total of 20 stem disks and 110 cores of 5 mm diameter were collected using an increment borer. The cores were progressively polished with sanding paper to describe and analyze wood anatomical patterns as a key for a successful dendrochronological study. The analyses were performed in the Dendrochronology Laboratory of INPA/Max-Planck project in Manaus. Tree age was determined by ring-counting and diameter increment rates were determined by ring-width measurements using a digital measuring device (LINTAB). Based on the data set of tree age, diameter and tree height, growth models were developed for each species based on significant age-diameter and diameter-height relationships to estimate volume growth. The diameter of the maximum current volume increment was defined as minimum logging diameter (MLD). The MLD of the studied tree species varied between 37,6 cm (*C. odorata*) and 128,8 cm (*H. crepitans*). The felling cycle was estimated by the mean passage time of 10 cm diameter classes until reaching the derived MLD. Felling cycles varied between 9,7 years (*H. crepitans* and *S. elata*) and 12,0 years (*C. odorata*), much lower than applied in the current management practices based on forest legislation and normative instruction of the Brazilian Environmental Agencies (IBAMA). The results indicate that current forest management practices are inefficient to manage the timber stocks of the studied commercial tree species. Management plans must consider species-specific growth rates to guarantee a sustainable forest management.

Abreviações

Ab – Área basal;

Bio – Biomassa acima do solo;

CC – Ciclo de corte;

CrC – Crescimento cumulativo;

DAP – Diâmetro acima da altura do peito;

Den – Densidade da madeira em g.cm^{-3} ;

DMD – Diâmetro mínimo de derrubada;

f – Fator de correção;

FFT – Fundação Floresta Tropical;

h – altura;

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IC – Incremento corrente;

IDSMS – Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá;

IM – Incremento médio;

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia;

IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas;

MMA – Ministério do Meio Ambiente;

MFC – Manejo Florestal Comunitário;

PMFS – Plano de Manejo Florestal Simplificado;

PPG7 – Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil;

RDSA – Reserva de Desenvolvimento Sustentável Amaná;

RDSM – Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá;

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente;

t – Tempo;

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura;

V – Volume.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Dendrocronologia nos trópicos	4
2.2. As florestas de várzea	7
2.3. Exploração madeireira na várzea	10
3. OBJETIVOS	14
3.1. Objetivo Geral	14
3.2. Objetivos específicos	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	15
4.1. Área de estudo	15
4.2. Descrição das espécies	16
4.3. Coleta de dados dendrocronológicos	20
4.4. Análise dos dados dendrocronológicos	21
5. RESULTADOS	26
5.1. Descrição anatômica da madeira	26
5.2. Modelagem dos padrões de crescimento das quatro espécies	29
6. DISCUSSÃO	40
6.1. Distinção dos anéis anuais na madeira	40
6.2. Idade das árvores e padrões de crescimento arbóreo	41
6.3. Estratégias de manejo florestal	46
6.4. Desafios futuros	53
7. CONCLUSÕES	54
8. REFERÊNCIAS	56

Lista de figuras

- Figura 1. Exemplo de construção de modelo de crescimento a partir de medições da largura dos anéis anuais na madeira. (a) Curva de crescimento em diâmetro individual (linha cinza) e curva média (linha escura). Modelo de crescimento em diâmetro (linha escura), incremento corrente anual (linha cinza) e incremento médio anual (linha tracejada). (c) Relação entre DAP e altura. (d) Modelo de crescimento em altura (linha escura), incremento corrente anual (linha cinza) e incremento médio anual (linha tracejada). (e) Modelo de crescimento em volume, onde o ponto máximo do incremento corrente anual representa o diâmetro mínimo de derrubada (DMD) da espécie. (f) Modelo de produção de biomassa acima do solo. Modificado de Schöngart *et al.* (2007).25
- Figura 2. Estrutura anatômica da madeira e os anéis de crescimento das quatro espécies estudadas. A seta branca marca o limite do anel formado anualmente durante o período de redução da atividade cambial.28
- Figura 3. Relação entre idade e crescimento em diâmetro das quatro espécies madeireiras. Cada linha em cinza representa o crescimento individual em diâmetro para cada espécie. O crescimento diamétrico médio é representado pela linha escura.30
- Figura 4. Curvas cumulativas médias do crescimento diamétrico das quatro espécies. A linha tracejada representa o diâmetro limite de derrubada de acordo com a IN n° 5 (IBAMA). (a) *Hura crepitans*, (b) *Sterculia elata*, (c) *Ocotea cymbarum* e (d) *Cedrela odorata*.31
- Figura 5. Modelo de crescimento em diâmetro. O crescimento cumulativo em diâmetro é representado pela linha negra, o incremento diamétrico corrente pela linha cinza clara e incremento diamétrico médio anual pela linha cinza escura.32
- Figura 6. Modelo de crescimento em área basal. O crescimento cumulativo em área basal é representado pela linha negra, o incremento em área basal corrente pela linha cinza clara e incremento em área basal médio anual pela linha cinza escura.34
- Figura 7. Relação entre DAP e altura. (A) *Cedrela odorata*, (B), *Ocotea cymbarum* (C) *Sterculia elata* e (D) *Hura crepitans*.35
- Figura 8. Modelo de crescimento em volume derivado da combinação do crescimento cumulativo em diâmetro com a relação entre idade e altura das espécies. Crescimento cumulativo em volume (linha escura), incremento corrente do volume (linha cinza clara) e incremento médio em volume anual (linha cinza escura). A seta vermelha indica o ponto máximo do incremento corrente em volume da espécie. .37
- Figura 9. Modelo de crescimento em Biomassa acima do solo das quatro espécies estudadas. Crescimento em Biomassa (linha escura), produção em Biomassa corrente (linha cinza clara) e produção em Biomassa média anual (linha cinza escura).39
- Figura 10. Distribuição diamétrica das quatro espécies madeireiras. Dados do inventário florestal de 1999 a 2000 obtidos do Manejo Florestal Comunitário da RDSM.50

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são de grande importância na promoção de habitats para metade das espécies do planeta, atuando na manutenção da biodiversidade, ciclagem de água e nos ciclos biogeoquímicos (Fearnside, 1999). Contudo, por mais de três décadas vêm sofrendo grandes pressões pelo aumento das taxas de desmatamento (Achard *et al.*, 2002; Lambin *et al.*, 2003) causadas principalmente pela conversão de floresta em pastagem e agricultura (Alencar *et al.*, 2001; Margulis, 2003), extração de madeira não sustentada (Nepstad *et al.*, 2001; Asner *et al.*, 2005), e investimentos em pavimentação e infra-estrutura (Carvalho *et al.*, 2001). Essas mudanças na cobertura florestal têm levado a comunidade científica a buscar alternativas para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais de florestas tropicais (Boot & Gullison, 1995; Hartshorn, 1995; Putz *et al.*, 2001).

A floresta Amazônica é a maior floresta tropical úmida do planeta (Sioli & Klinge, 1962; Sioli, 1991), dos quais 6 % correspondem a florestas de áreas alagáveis (Prance, 1980). Estas são classificadas em várzea e igapó (Prance, 1980) e se destacam por um distinto sistema edáfico associado ao tipo de águas a que estão sujeitas (Prance, 1989), com dinâmica altamente influenciada pelo pulso anual de inundação (Junk *et al.*, 1989; Schöngart *et al.*, 2004, 2005). As florestas de várzea sofrem influência de rios de águas barrentas (Furch, 1984) capazes de transportar uma grande quantidade de nutrientes através de sedimentos oriundos de erosões ocorrendo nos Andes e encostas Pré-andinas (Sombroek, 1979; Ayres, 1993; Irion *et al.*, 1997).

A riqueza de nutrientes e relativa fertilidade dos solos (Furch, 1997) conferem a estes ecossistemas de várzea um caráter de importância econômica, sendo um atrativo

para a colonização humana durante os últimos séculos (Parolin, 2002). Frequentemente são utilizadas para as práticas de agricultura de subsistência, sendo importante fonte de proteínas para as populações ribeirinhas por meio da pesca e caça (Sioli, 1984; Junk, 1989), e para a extração de produtos madeireiros e não-madeireiros (Junk & Piedade, 1997; Ohly, 2000; Ribeiro *et al.*, 2004; Gama *et al.*, 2005). Estes fatores influenciam na alta densidade populacional encontrada neste ecossistema, considerando-se outras regiões da Amazônia (Denevan, 1976; IBGE, 2000).

O setor madeireiro tem papel de destaque nestas regiões. A alta abundância de certas espécies madeireiras (Wittmann *et al.*, 2006a) aliada à facilidade de acesso aos recursos, o tipo de operação de extração, derrubada, arraste e transporte através dos rios reduzem os custos da madeira extraída das várzeas com relação à extração de florestas de terra firme (Higuchi *et al.*, 1994; Barros & Uhl, 1995, 1999; Uhl *et al.*, 1997; Schöngart *et al.*, 2007).

Até o final de 1990, cerca de 80% da madeira encontrada no mercado brasileiro era de origem ilegal (Smeraldi, 2003). Nos últimos anos, a grande pressão exercida pela extração predatória da madeira aliada ao surgimento de novas alternativas de uso da terra levaram a necessidade de elaboração de estratégias de manejo florestal e conservação das florestas alagáveis de várzea (Schöngart *et al.*, 2007). Recentemente, programas de manejo florestal têm sido implementados com o intuito de proteção e conservação das várzeas amazônicas, tais como os projetos Pró-Várzea e PPG7 (Schöngart *et al.*, 2008a).

Atualmente, os planos de manejos na Amazônia Brasileira, têm como base o Código Florestal nº 4.711, 15 de setembro de 1965, fundamentado em um sistema policíclico, o qual estabelece um diâmetro limite de corte e a extração da madeira

realizada em intervalos de anos em uma dada área (ciclo de corte). A área a ser maneja é dividida em talhões de aproximadamente tamanho correspondendo ao número de anos do ciclo de corte (Lamprecht, 1989; De Graaf *et al.*, 2003).

Este modelo de manejo florestal é caracterizado por ocasionar superexploração e subutilização do potencial madeireiro por não considerar as variações nas taxas de crescimento entre espécies, entre diferentes habitats e ao longo dos anos (Schöngart, 2003; Brien *et al.*, 2006). Espécies de madeira de densidade baixa, com taxas de crescimento rápido, podem alcançar o limite de diâmetro para corte antes do tempo estabelecido, enquanto que espécies de madeira densa levam maior tempo para atingir este diâmetro de derrubada (Schöngart, 2003; Schöngart *et al.*, 2003, 2007; Brien *et al.*, 2007).

A Instrução Normativa (IN) n° 5 de 11 de dezembro de 2006 abre caminhos para modificações do manejo florestal atual. O ciclo de corte varia entre 25 e 35 anos e a produção máxima é de 30 m³ por ha ao ano no *Plano de Manejo Florestal Simplificado* (PMFS) Pleno. No PMFS de baixa intensidade foi estabelecido um ciclo de corte inicial de 10 anos, com volume de extração de até 10 m³ por ha. Na várzea a produção pode exceder 10 m³ por ha ao ano, porém a extração se restringe a três árvores por ha. Esta nova IN requer o estabelecimento de modelos específicos para cada espécie, onde o limite de diâmetro para corte é determinado a partir de critérios ecológicos e técnicos. Caso contrário, um diâmetro de corte de 50 cm é estabelecido.

Estimativas da produção de madeira considerando-se a variação no crescimento arbóreo entre as espécies são necessárias para garantir o contínuo suprimento e manutenção dos sistemas de manejo de florestas naturais (Brien *et al.*, 2007). Neste sentido, a análise de anéis anuais na madeira (dendrocronologia) vem a ser uma

importante ferramenta na elaboração de sistemas de exploração sustentada, fornecendo modelos de crescimento e idade da madeira (Worbes *et al.*, 2001; Worbes, 2002; Dünisch *et al.*, 2003; Schöngart *et al.*, 2003, 2007; Brienen & Zuidema, 2005) proporcionando opções de manejo mais específicas e efetivas, com benefícios para as populações futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dendrocronologia nos trópicos

Os anéis de crescimento na madeira de espécies das regiões temperadas configuram o incremento radial, os quais anualmente são incorporados ao tronco das árvores. Cada anel possui duas partes distintas: lenho inicial e lenho tardio. O primeiro corresponde ao crescimento arbóreo no início do período vegetativo, quando as plantas reativam as atividades fisiológicas. O lenho tardio é formado no final do período vegetativo, com a redução das atividades e modificação da estrutura celular, com espessamento das paredes e redução do lume (Fritts, 1976). A queda das atividades celulares ocorre como resposta às condições desfavoráveis de crescimento arbóreo em decorrência da redução da temperatura (Schweingruber, 1988).

Leonardo da Vinci, durante o século 15, foi o primeiro a reconhecer a existência de anéis anuais na madeira em ramos de pinheiros, relacionando-os a idade da árvore e seu padrão de espessura com anos mais ou menos secos (Schweingruber, 1988). Já no século 19, diversas pesquisas demonstravam que as baixas temperaturas dos invernos rigorosos em regiões temperadas são um fator limitante no crescimento da

madeira (Worbes, 1995). Contudo, somente no início do século 20 a existência de anéis anuais nos trópicos foi descoberta e, algumas décadas depois, foi questionada (Worbes & Junk, 1999). Muitos acreditavam na ausência de anéis anuais nos trópicos devido à limitada sazonalidade (Schweingruber, 1988) e temperatura quase constante (Whitmore, 1990). Este mito é ainda mantido por alguns autores (Lieberman *et al.*, 1985; Whitmore, 1990), mesmo verificando-se que a distribuição sazonal das chuvas na maioria das regiões tropicais ocasiona uma distinta estação seca (Worbes, 1999).

Alguns autores enfatizam os problemas relacionados à formação de anéis anuais na madeira nos trópicos. Estudos têm registrado a formação de dois anéis por ano em regiões apresentando duas estações de seca distintas (Gourlay, 1995), formação de anéis intra-anuais ou falsos anéis em resposta a padrões irregulares de chuvas com seca excepcional durante a estação chuvosa (Borchert *et al.*, 2002), ou ainda, a formação de anéis irregulares na madeira de espécies tropicais (Sass *et al.*, 1995). Contudo, a existência de anéis de crescimento nos trópicos tem sido registrada em mais de 20 países tropicais, sendo que muitos estudos têm comprovado a anualidade na formação dos anéis por mais de 100 anos (Worbes, 2002). Foram descritos para estas regiões diferentes padrões de anéis anuais por Coster (1927,1928) e classificados por Worbes (1995) como quatro tipos principais: variações na densidade da madeira, faixas de parênquima marginal, alternância de faixas de fibra e parênquima e variações na densidade dos vasos.

Em regiões de áreas alagáveis da Amazônia, o ritmo de crescimento das árvores é determinado pelo pulso de inundação (Worbes, 1985). Durante o alagamento as raízes sofrem condições anóxicas, acarretando redução do transporte de água até a copa das árvores e conseqüente redução do metabolismo, o que resulta em dormência

cambial e a formação de anéis anuais na madeira (Worbes, 1989, Schöngart *et al.*, 2002). Diversas pesquisas têm evidenciado a presença de anéis anuais nas regiões de áreas alagáveis nos trópicos (Worbes, 1989; Dezzeo *et al.*, 2003; Schöngart *et al.*, 2002, 2004, 2005).

Existem diferentes métodos de investigação do ritmo de crescimento da madeira, classificados em destrutivos e não destrutivos (Worbes, 1995). Métodos não destrutivos podem ser feitos a partir de investigações fenológicas, medidas repetidas do diâmetro e medida da atividade cambial por mensuração da resistência elétrica na zona cambial. Feridas cambiais (Janelas de Mariaux), datação por radiocarbono, cicatrizes provocadas por fogo em anos conhecidos ou injúrias na madeira, densitometria por raios-X, variações nas concentrações de isótopos estáveis e contagem direta dos anéis são métodos destrutivos de constatação do ritmo de crescimento da madeira (Worbes, 1995, 2002). Todos estes métodos foram utilizados independentemente para indicar a ocorrência de anéis anuais no xilema de espécies arbóreas nas várzeas.

Dentre estes métodos, a contagem direta dos anéis anuais se destaca pela obtenção de estimativas acuradas da idade das árvores e dados de longos períodos de crescimento da madeira (Bormann & Berlyn, 1981; Eckstein *et al.*, 1995). Informações, estas, úteis para o entendimento da dinâmica da floresta (Enright & Hartshorn, 1981; Worbes, 2002), desenvolvimento de sistemas de manejo florestal e estratégias de conservação das espécies (Stahle *et al.*, 1999; Worbes *et al.*, 2003).

O padrão de crescimento ao longo do tempo atua como um arquivo de dados e contribui com informações sobre as mudanças nas condições ambientais (Spiecker, 2002), relações entre o clima e o crescimento arbóreo (Enquist, & Leffler, 2001; Nutto &

Watzlawick, 2002; Fichtler *et al.*, 2004; Schöngart *et al.*, 2006; Therrell *et al.*, 2006) e seqüestro de carbono na biomassa da madeira (Schöngart, 2003).

2.2. As florestas de várzea

Junk *et al.* (1989) definiram como áreas alagáveis aquelas cuja inundação é promovida por um fluxo lateral dos rios e lagos e/ou precipitação direta ou sobre as águas, um fenômeno periódico que influencia na dinâmica das comunidades e acarreta um longo período de adaptações e evolução de espécies endêmicas. Na região amazônica, as áreas inundáveis são recobertas por florestas de várzea e igapó, sendo que as florestas de várzea abrangem uma área de 50-75% e são consideradas o tipo de vegetação inundável mais importante destas regiões (Wittmann *et al.*, 2002).

As florestas alagáveis sofrem esta alternância anual entre fase terrestre e aquática, a qual vem ocorrendo há milhões de anos, leva ao desenvolvimento de adaptações de caráter morfológico, anatômico, fisiológico, etológico e fenológico nas espécies que vivem nestes ambientes inundados anualmente (Ferreira, 1991; Kubitzki & Zibursk, 1994; Waldhoff *et al.*, 1998; Wittmann & Parolin, 1999; Piedade *et al.*, 2000; Parolin *et al.*, 2004).

Muitas espécies respondem as condições desfavoráveis de crescimento durante a fase de alagamento apresentando adaptações na forma de produção de raízes adventícias, desenvolvimento de vias alternativas metabólicas e permanência da atividade fotossintética (De Simone *et al.*, 2003), estratégias de tolerância ou escape ao alagamento pelas plântulas (Parolin, 2002), ou ainda, armazenamento de água no caule (Schöngart *et al.*, 2002). Cada espécie responde a este fenômeno de forma

diferenciada, podendo ser visualizada através dos diversos padrões fenológicos encontrados nas áreas alagáveis (Schöngart *et al.*, 2002). O alagamento anual causa condições anaeróbicas nas raízes, levando a redução do transporte de água até a copa das árvores, o que ocasiona estresse hídrico e perda de folhas. Como resultado a planta entra em dormência cambial.

As diferentes estratégias adaptativas associadas com diferentes níveis de tolerância ao alagamento refletem a influência exercida pelo período e nível de alagamento aos quais as plantas estão sujeitas, resultando numa zonação de espécies, característica nas áreas alagáveis (Takeuchi, 1962; Revilla, 1981; Piedade, 1985; Worbes *et al.*, 1992; Worbes, 1997; Wittmann *et al.*, 2002, 2004).

A dinâmica sucessional em florestas de várzea da Amazônia foi descrita por Worbes *et al.*, (1992). Estágios iniciais de sucessão primária e secundária apresentam estratos monoespecíficos com espécies de crescimento rápido e baixa densidade da madeira, as quais não alcançam grandes idades. Por meio do processo de sucessão natural ocorrem substituições de espécies e formação de estágios tardios, onde se observam uma maior complexidade nos extratos arbóreos e diversidade de espécies, diminuição da taxa de incremento radial e acúmulo de biomassa (Worbes, 1992; Schöngart *et al.*, 2003).

Ao longo da seqüência de estágios sucessionais existe um aumento da densidade da madeira das árvores e decréscimo das taxas de incremento em diâmetro, aumento da diversidade de espécies, o que implica mudanças de estratos mais homogêneos de estágios sucessionais iniciais para extratos mais complexos caracterizados pelo aumento da altura das árvores, tamanho e área da copa (Wittmann *et al.*, 2002; Schöngart *et al.*, 2003).

Esta zonation de espécies em florestas de várzea ao longo do gradiente topográfico (Junk 1989; Ayres, 1993) e seqüência de estágios sucessionais (Worbes, 1997) leva a formação de dois habitats significativamente diferentes, os quais são denominados várzea alta e várzea baixa (Wittmann *et al.*, 2002). A primeira caracteriza-se por alagamento de menos de 3 m por ano na média, apresentando aumento da diversidade e complexidade da arquitetura com o aumento da idade, resultando de processo sucessional natural de florestas tardias de várzea baixa, sendo considerada representante de estágio clímax. A várzea baixa apresenta diferentes estágios de sucessão natural e é alagada por mais de 3 m por ano (Wittmann *et al.*, 2002), sendo que a complexidade de estrutura e composição da floresta tende a aumentar com a redução do nível e duração do alagamento.

A grande variedade de habitats e multiplicidade de adaptações resultam numa grande diversidade de espécies arbóreas dentro das áreas alagáveis (Junk, 1989) atingindo 1000 espécies registradas para florestas alagáveis de várzea (Wittmann *et al.*, 2006a). A alta diversidade nestas áreas está relacionada ao nível e período das cheias e aumenta com diminuição da duração de inundação (Wittmann & Junk, 2003; Worbes *et al.*, 1992; Piedade *et al.*, 2005). Entretanto, florestas de várzea possuem diversidade de espécies menor se comparada com florestas de terra firme da mesma região (Ayres, 1993).

Wittmann *et al.* (2006a) afirmam que nas florestas de várzea a diversidade de espécies também aumenta no sentido leste – oeste dentro da Bacia Amazônica. Este padrão parece similar ao encontrado para florestas de terra firme na mesma região geográfica (Ter Steege *et al.*, 2003), corroborando com a hipótese de formação de uma zona de transição que permite a migração das espécies de florestas de terra firme para

florestas alagáveis de várzea alta (Wittmann *et al.*, 2006a). Esta hipótese é estabelecida pela elevada similaridade florística encontrada entre a várzea alta e terra firme.

As florestas de várzea alta compreendem cerca de 10% da cobertura florestal, (Sociedade Civil Mimirauá, 1996; Wittmann *et al.*, 2002), no entanto são as florestas mais ameaçadas pela ação antrópica, sendo freqüentemente utilizadas para moradia e substituição das áreas de floresta para atividades de agricultura e pecuária. Apresentam alta abundância de espécies madeireiras e estão sendo ameaçadas por práticas insustentáveis de manejo (Ayres, 1993; Worbes *et al.*, 2001).

2.3. Exploração madeireira na várzea

Atualmente, dentro da Bacia Amazônica, de aproximadamente 350 espécies madeireiras encontradas, cerca de 34% também ocorrem em florestas de várzea (Martini *et al.*, 1998), outras são restritas a este tipo de ecossistema. Pela falta de infraestrutura em estradas, de 60% a 80% da madeira extraída na Amazônia Ocidental e Peru têm origem a partir deste tipo de floresta inundável (Higuchi *et al.*, 1994; Nebel & Kvist, 2001; Worbes *et al.*, 2001). Em 2000, somente no Estado do Amazonas, aproximadamente 75% da madeira para indústria de laminados e compensados teve origem em florestas alagáveis (Lima *et al.*, 2005).

O preço da madeira de espécies com densidade abaixo de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ (madeira de densidade baixa), no Médio Rio Solimões, variou entre R\$ 0,75 - 6,00 por m^3 para *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae) e *Couroupita subsessilis* Pilg. (Lecythidaceae), enquanto que espécies de madeira de densidade alta, acima de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ (madeira densa), como *Ocotea cymbarum* Mez (Lauraceae), *Copaifera* sp. (Fabaceae) e

Piranhea trifoliata Baill. (Euphorbiaceae) foram negociadas por R\$ 2,88 - 12,90 por m³, no período de 1993 a 1995 (Worbes *et al.*, 2001). O primeiro grupo é freqüentemente utilizado em indústrias de laminados e compensados, enquanto que as espécies de madeira de densidade alta são muito utilizadas na construção de casas, barcos e móveis (Albernaz & Ayres, 1999). Com a implementação de manejo sustentável, controlado e autorizado pelo IBAMA e IPAAM, os preços da madeira subiram consideravelmente, atingindo valores de até R\$ 62,00 por m³ no ano de 2007 ao longo do Médio Rio Solimões (Schöngart *et al.*, 2008a).

Um inventário florestal realizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM), abrangendo uma área de 342 ha de florestas de várzea, encontrou 12.2 espécies madeireiras por ha com diâmetro limite de corte acima de 45 cm (Schöngart *et al.*, 2008a). Das espécies inventariadas, as mais encontradas dentre as madeiras de densidade baixa foram *H. crepitans* e *Couroupita subsessilis* Pilg. (Lecythidaceae). Das madeiras densas *Ocotea cymbarum* Mez (Lauraceae), *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook.f ex K.Schum. (Rubiaceae) foram as mais abundantes.

Dados do Instituto de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá (IDSM) do manejo florestal comunitário (MFC) de 2003 mostraram que 42% do número de toras e 60% do volume extraído na reserva pertencem à *H. crepitans*. Esta espécie somada a *O. cymbarum* e *C. subsessilis*, corresponde a quase 70% do volume em metros cúbicos de madeira extraída.

A atividade madeireira em florestas de várzea se restringe a poucas espécies (Schöngart, 2003) e a ausência de dados de regeneração e crescimento aliados à exploração inadequada da madeira têm levado à redução das populações de algumas

destas espécies, chegando a praticamente desaparecer dos mercados regionais (Higuchi, *et al.*, 1994; Worbes *et al.*, 2001). Espécies como *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), *Platymiscium ulei* Harms (Fabaceae), *Virola spp.* (Myristicaceae), *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth (Malvaceae) foram substituídas por *O. cymbarum*, *C. spruceanum*, *H. crepitans* e *C. guianensis* (Albernaz & Ayres, 1999; Anderson *et al.*, 1999; Worbes *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2005).

Dentro da RDSM, o manejo florestal se caracteriza por sistema policíclico, com ciclo de corte de 25 anos e diâmetro limite de corte de 45 cm. Inicialmente deve ser feito um inventário florestal de todas as espécies madeireiras com diâmetro ≥ 20 cm e as extrações se limitam a cinco árvores por ha que se encontram acima do diâmetro de corte. Cerca de 10% das árvores acima do limite de diâmetro devem permanecer nas áreas como porta-sementes com o intuito de garantir a regeneração das espécies exploradas

Aproximadamente 12% da cobertura florestal da RDSM pertencem a florestas de várzea alta, onde a abundância de espécies de valor econômico é alta (Wittmann *et al.*, 2002) e contribuem para o fornecimento de produtos madeireiros para o mercado local, regional e internacional (Wittmann *et al.*, 2004). Schöngart *et al.*, (2007) afirmam que as espécies mais exploradas na reserva são: *O. cymbarum*, *C. spruceanum* e *P. trifoliata* (espécies de madeira de densidade alta); assim como, *Ficus insipida* Willd. (Moraceae), *H. crepitans*, *Maquira coriacea* (Karsten) C.C.Berg (Moraceae) (espécies de madeira de densidade baixa).

Este estudo analisa e modela padrões de crescimento de quatro espécies arbóreas de interesse comercial de baixa densidade de madeira (madeira de densidade

baixa) e alta densidade de madeira (madeira densa) exploradas dentro da RDSM. Deste modelos, critérios como DMD e ciclo de corte são derivados e discutidos no contexto das atuais normas de manejo florestal na Amazônia pela legislação brasileira.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Modelar padrões de crescimento da madeira de *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae), *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), *Ocotea cymbarum* Mez (Lauraceae) e *Sterculia elata* Ducke (Malvaceae), espécies de importância econômica na exploração madeireira das florestas de várzea da Amazônia, para definir ciclos de corte e diâmetro mínimo de derrubada (DMD) específicos, subsidiando futuros planos de manejo florestal sustentável dentro da RDSM.

3.2. Objetivos específicos

- a. Descrição da anatomia da madeira;
- b. Determinação da idade das árvores;
- c. Determinação das taxas de incremento em diâmetro, altura, volume de madeira e biomassa;
- d. Estimativa de ciclos de corte e diâmetro mínimo de derrubada para definir critérios de manejo para cada uma das espécies.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Mamirauá (RDSM), a primeira Unidade de Conservação na categoria de reserva sustentável e primeira existente no ecossistema de várzea. Sua criação é resultado de solicitação, encaminhada em 1985, pelo biólogo Dr. José Márcio Ayres ao órgão responsável na época, SEMA – Secretaria Especial de Meio Ambiente (Queiroz, 2005).

A RDSM é dividida em duas áreas principais: área focal (cerca de 260.000 ha), onde se desenvolvem, desde 1991, atividades baseadas em pesquisas socioeconômicas e ecológicas, incluindo pesca, agricultura, agroflorestal e ecoturismo (Sociedade Civil Mamirauá, 1996) e área subsidiária (cerca de 878.000 ha), a qual será manejada progressivamente. A área focal é, por sua vez, subdividida em zona de proteção permanente, zona de ecoturismo e zona destinada ao manejo sustentável de recursos naturais.

Dentro da área focal, existem nove unidades ou setores de controle do uso dos recursos naturais denominadas: Mamirauá, Jarauá, Tijuaca, Boa União do Médio Japurá, Aranapú, Barroso, Horizonte, Liberdade e Ingá. As atividades econômicas realizadas pelas comunidades dentro dos setores se dividem em produção de farinha, pesca e exploração da madeira, as quais são influenciadas pelo nível de inundação anual (Albernaz & Ayres, 1999).

A RDSM está situada na região do médio Solimões, na confluência dos rios Solimões e Japurá, entre as bacias do rio Solimões e Negro. Sua porção mais a leste

fica nas proximidades da cidade de Tefé, no Estado do Amazonas. Sua vizinha RDS Amanã liga a RDSM ao Parque Nacional do Jaú (Schöngart *et al.*, 2005). Estas três unidades juntas constituem um bloco de floresta tropical com cerca de 6.000.000 ha protegidos oficialmente. Formam o embrião do Corredor Central da Amazônia (MMA/PPG7) e da Reserva da Biosfera da Amazônia Central (MaB/Unesco) e compõem um Sítio Natural do Patrimônio Mundial (Unesco/IUCN) (Queiroz, 2005; Ayres *et al.*, 2005).

Possui clima caracterizado por uma média de temperatura diária de 26,9 °C e precipitação anual de aproximadamente 3.000 mm, apresentando uma estação seca distinta (julho-outubro). O nível de flutuação média da água do Rio Japurá durante 1993 – 2000 foi de 11.38 m (Wittmann & Junk, 2003; Schöngart *et al.*, 2005).

Aproximadamente 92% da cobertura vegetal abrangendo a área focal da reserva é composta por florestas de várzea baixa, constituída por diferentes estágios sucessionais; e somente cerca de 8% corresponde a florestas de várzea alta (Wittmann *et al.*, 2002).

4.2. Descrição das espécies

4.2.1. *Cedrela odorata* L. (Meliaceae)

Popularmente conhecida como cedro, cedro branco, cedro cheiroso ou cedro mogno; apresenta tronco com casca de cheiro bastante característico, rugosa, com fissuras transversais, vermelho-alaranjadas. Apresenta base reta ou com raízes tabulares e suas flores são brancas, em inflorescências terminais (Wittmann *et al.*,

2006b). Os frutos capsulares, quando maduros, se abrem liberando de 40 a 50 sementes aladas as quais são dispersas pelo vento (Cintron, 1990; Wittmann *et al.*, 2006b).

Encontrada em toda a Amazônia, embora com baixa frequência, ocorre desde as Índias Ocidentais, as grandes e pequenas Antilhas até Trinidad e Tobago, sendo encontrada também no México, Equador, Peru e Guianas (Cintron, 1990). É tipicamente decídua, sendo encontrada em extrato superior de várzea alta e ocupando estágio sucessional secundário tardio.

Apresenta madeira moderadamente densa, variando entre 0,44 a 0,60 g.cm⁻³. O floema é avermelhado, com cerne variando do castanho claro ao bege rosado escuro e alburno amarelo, apresentando cheiro aromático (Loureiro & Silva, 1968).

Além da sua importância como espécie madeireira na fabricação de móveis, construção civil e naval, embalagens e instrumentos musicais, a casca do cedro é aproveitada na medicina popular como tônica, adstringente e febrífuga (Loureiro & Silva, 1968; Wittmann *et al.*, 2006b).

4.2.2. *Sterculia elata* Ducke (Malvaceae)

Conhecida popularmente como tacacazeiro, xixá, chicá da mata ou manduvi, cujos frutos apresentam uma coloração avermelhada quando maduros, sendo organizados em cinco folículos com uma sutura ventral cada um. Os frutos são esquizocárpicos e as flores estão organizadas em inflorescências terminais, amarelas a purpúreas (Wittmann *et al.*, 2006b).

Apresenta distribuição nos neo-trópicos, compreendendo o Sul do México, e América Central, Norte do Brasil, Pantanal e Peru, ocupando extrato superior e emergente de várzea alta. É uma espécie decídua de estágio sucessional secundário tardio.

Apresenta madeira de densidade média de $0,47 \text{ g.cm}^{-3}$, cujo floema tem coloração marrom escura e o alburno é marrom claro. A madeira é muito utilizada para confecção de embalagens, palitos, fósforos, compensados e troncos para canoas. As sementes oleaginosas são comestíveis. A árvore é freqüentemente utilizada para ornamentação. (Wittmann *et al.*, 2006b).

4.2.3. *Hura crepitans* L. (Euphorbiaceae)

Conhecida comumente por assacú, *H. crepitans* é uma espécie cujo caule é aculeado, apresentando látex branco, aquoso, cáustico, e freqüentemente utilizado como veneno de peixe. Causa irritações fortes em contato com a pele (Francis, 1990; Wittmann *et al.*, 2006b). Os frutos são capsulares, lenhosos, arredondados e deprimidos nos pólos. Tem distribuição no Brasil, Guianas, Oeste da Índia, Cuba, Jamaica, Trinidad e Tobago, Costa Rica, ao sul do Peru e Bolívia (Loureiro & Silva, 1968; Wittmann *et al.*, 2006b).

Ocupa o extrato superior de várzea alta, sendo identificada como uma espécie perenifólia de estágio sucessional secundário tardio. Apresenta madeira muito leve ($0,35$ a $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$), cerne e alburno indistintos e de coloração branca com reflexos amarelados. Pelas características da madeira, são comumente usadas na fabricação de

caixas, tamancos, obras internas, artefatos de madeira, forros, tábuas, compensados, bóias flutuantes, canoas e gamelas (Francis, 1990; Wittmann *et al.*, 2006b).

4.2.4. *Ocotea cymbarum* H.B.K. (Lauraceae)

Freqüentemente chamada por louro inamuí, louro mamorim, louro mamorí, inhamuí, óleo de inhamuí e pau de gasolina, *O. cymbarum* é uma árvore de grande porte (20 – 30 m), apresentando casca avermelhada, aromática, ramos jovens com pilosidade e acinzentados. Possui exsudato transparente, aromático, apresentando cheiro de menta (Wittmann *et al.*, 2006b).

Tem distribuição por toda a Amazônia, sendo encontrada em extrato superior de várzea alta. É semi-decídua e de estágio sucessional secundário tardio. Sua madeira é moderadamente densa, variando de 0,55 a 0,65 g.cm⁻³ (Loureiro & Silva, 1968). O floema possui coloração marrom café, enquanto que o cerne amarelado, claro e brilhante, diferencia-se pouco do alburno, levemente mais claro (Wittmann *et al.*, 2006b).

É comumente utilizada na carpintaria de luxo, construção em geral, marcenaria, compensado, pranchas e tabuados (Loureiro & Silva, 1968). Sua madeira traz óleo contendo safrol, que em baixa concentração, é um componente para fragrâncias e perfumes (Wittmann *et al.*, 2006b). O lenho apresenta atividade contra o desenvolvimento do ancilostomídeo humano (Marques, 2001).

4.3. Coleta de dados dendrocronológicos

Das quatro espécies estudadas, duas de madeira de densidade baixa – *H. crepitans* e *S. elata*, e duas de madeira densa – *C. odorata* e *O. cymbarum* (Schöngart, 2003), foram selecionados entre 21 e 37 indivíduos emergentes de floresta de várzea alta dos setores Jarauá e Tijuaca da RDSM. As medidas do diâmetro na altura do peito (DAP) com ≥ 10 cm foram feitas com o uso de fita dendrométrica de dupla face, sendo inferidas acima das sapopemas, quando presentes. A altura da árvore foi medida a partir do uso de inclinômetro (Blume-Leiss) e fita métrica.

Para verificar a idade das árvores foram utilizados 10 discos de *H. crepitans* e 10 discos de *O. cymbarum*, fornecidos pelo Programa de MFC da RDSM no ano de 2001, bem como amostras coletadas de troncos dos indivíduos de cada uma das quatro espécies. Para tanto, foi aplicado um método não destrutivo de extração de cilindros da madeira, utilizando-se uma broca dendrocronológica, num total de 110 cilindros com cinco mm de diâmetro (21 amostras de *S. elata*, 23 de *C. odorata*, 29 de *O. cymbarum* e 37 de *H. crepitans*), coletadas entre 07 de outubro de 2006 a 16 de abril de 2007, na altura aproximada de 1,30 m da base do tronco. Após a coleta das amostras o orifício produzido com a broca dendrocronológica foi obstruído com cera de carnaúba para evitar possíveis ataques por fitopatógenos.

As amostras coletadas foram coladas em suporte de madeira e em seguida polidas com lixas de papel com diferentes granulometrias, em uma seqüência progressiva até uma granulação de 600. Estas foram analisadas no Laboratório de Dendrocronologia do Projeto INPA/Max-Planck em Manaus. A análise macroscópica da estrutura da madeira foi feita a partir de fotografias feitas utilizando-se máquina digital

NIKON coolpix 4500. Para descrição anatômica dos anéis de crescimento, utilizou-se como base os padrões de anéis descritos por Coster (1927, 1928) e adaptados por Worbes (1985, 1989).

4.4. Análise dos dados dendrocronológicos

A determinação da idade foi feita por meio da contagem direta dos anéis anuais e as taxas de incremento radial foram geradas por medição da espessura dos anéis, com o sistema de análise digital com precisão de 0,01 mm (LINTAB), juntamente com o software (TSAP-Win = *Time Series Analyses and Presentation*), específico para análises de seqüências temporais (Schöngart *et al.*, 2004). Para os cilindros que não alcançaram o cerne do tronco foram estimadas as distâncias até o centro e a partir do número médio de anéis encontrados em outros indivíduos foram feitas estimativas da idade do primeiro anel visível no tronco. As medições da largura dos anéis se deram no sentido cerne – casca.

Curvas cumulativas do diâmetro individual para as quatro espécies foram elaboradas com base nestas medições do incremento radial corrente e relacionadas com o DAP medido no campo (Schöngart *et al.*, 2003; Brienen & Zuidema, 2007) (Figura 1a). A partir destas curvas individuais foram construídas curvas cumulativas médias para cada espécie, descrevendo a relação entre idade e diâmetro para as mesmas.

A curva média do diâmetro calculada para cada espécie foi ajustada como um modelo de regressão sigmoidal, da qual foram derivadas as curvas do incremento corrente e médio do diâmetro para cada espécie (Figura 1b). Modelos de regressão não

– linear descreveram, para cada espécie, a relação entre DAP e a altura medida no campo (Figura 1c). Combinando as relações idade-DAP e DAP-altura permite estimar o crescimento da altura (Nebel *et al.*, 2001). Deste modo, para cada idade determinada, foram atribuídas uma medida de diâmetro e de altura para cada espécie (Schöngart *et al.*, 2007).

A combinação dos modelos de regressão não-linear das relações entre idade e DAP, bem como das relações entre DAP e altura também possibilitou a construção do modelo de crescimento em volume da madeira (Figura 1e) e produção de biomassa acima do solo das espécies estudadas (Figura 1f). O modelo alométrico utilizado para estimativa do volume da madeira foi definido por Cannell (1984) para florestas tropicais úmidas e tem como parâmetros a altura das árvores e o DAP.

O volume da madeira (V) foi estimado a partir da multiplicação da área basal (Ab) pela altura (h) e por um fator (f) de redução de 0,6 (Nebel *et al.*, 2001). A equação é dada por:

$$V = Ab \times h \times f \quad (1)$$

onde a Ab é dada por:

$$Ab = \pi \times (DAP / 2)^2. \quad (2)$$

Foi utilizado um modelo alométrico para estimar a biomassa acima do solo com boa aplicabilidade em florestas alagáveis, segundo resultados obtidos por Stadler

(2007). Este modelo tem como parâmetros a densidade da madeira, o diâmetro e altura das árvores e foi descrito por Chave *et al.* (2005). A equação é descrita abaixo:

$$Bio = 0,0509 \times den \times DAP^2 \times h \quad (3)$$

onde a *Bio* é a estimativa da biomassa acima do solo, *den* é a densidade da madeira obtida para cada espécie de Wittmann *et al.* (2006b) e 0,0509 é um fator de correção.

O fator de correção dos modelos de cálculo do volume (0,6) e biomassa (0,0509) da madeira se refere ao fato de que as árvores não representam cilindros perfeitos e diminuem o raio do tronco à medida que se distanciam do DAP.

Destes modelos de crescimento do DAP, altura, área basal, volume e biomassa da madeira foram derivadas as taxas do incremento médio (*IM*) e corrente (*IC*) (Figuras 1b,1d,1f) para cada espécie, seguindo as equações abaixo (Schöngart *et al.*, 2007):

$$IM = CrC_t / t \quad (4)$$

$$IC = CrC_{t+1} - CrC_t, \quad (5)$$

onde *CrC* é o crescimento cumulativo em diferentes anos *t* sobre ciclo de vida total da planta.

O período ideal de extração é estabelecido quando a espécie atinge sua produção máxima em volume, período este entre a taxa máxima de *IC* em volume e a taxa máxima de *IM* em volume (Schöngart, 2003). Este intervalo representa o período

em que a extração da madeira utiliza-se do potencial de crescimento máximo das espécies (Schöngart, 2008).

A modelagem dos padrões de crescimento foi construída a partir do uso do software program X-Act (SciLab), e em seguida, definidas as recomendações de manejo para ciclos de corte e DMD para cada uma das quatro espécies madeireiras.

O DMD é definido pela idade em que a árvore atinge as maiores taxas de incremento anual corrente do volume (Figura 1e). O tempo médio que um indivíduo leva para passar por uma classe de DAP de 10 cm até chegar ao DMD é o ciclo de corte da espécie (Schöngart *et al.*, 2007). Este é dado por:

$$CC = idade_{(DMD)} / DMD \times 10 \quad (6),$$

onde CC é o ciclo de corte da espécie e $idade_{(DMD)}$ é a idade da árvore quando atingiu o DMD.

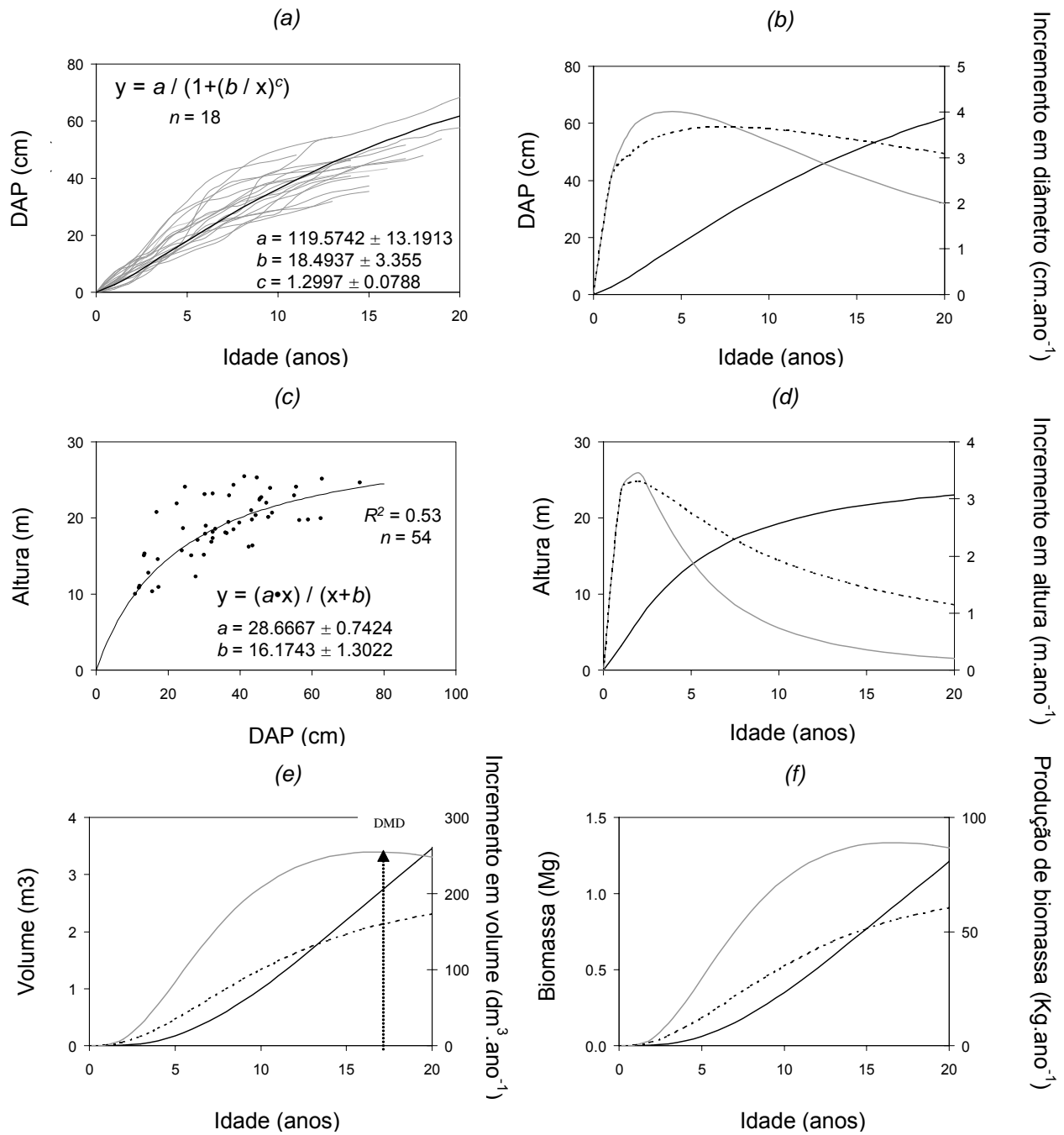


Figura 1. Exemplo de construção de modelo de crescimento a partir de medições da largura dos anéis anuais na madeira. (a) Curva de crescimento em diâmetro individual (linha cinza) e curva média (linha escura). Modelo de crescimento em diâmetro (linha escura), incremento corrente anual (linha cinza) e incremento médio anual (linha tracejada). (c) Relação entre DAP e altura. (d) Modelo de crescimento em altura (linha escura), incremento corrente anual (linha cinza) e incremento médio anual (linha tracejada). (e) Modelo de crescimento em volume, onde o ponto máximo do incremento corrente anual representa o diâmetro mínimo de derrubada (DMD) da espécie. (f) Modelo de produção de biomassa acima do solo. Modificado de Schöngart *et al.* (2007).

5. RESULTADOS

5.1. Descrição anatômica da madeira

O limite dos anéis e a estrutura anatômica da madeira foram determinados com base na classificação de Coster (1927,1928) e adaptados por Worbes (1995). Três tipos de anéis foram distinguidos de acordo com essa classificação: (1) faixas de parênquima marginal, (2) alternância entre faixas de fibra e faixas de parênquima e (3) variação na densidade da madeira (Tabela 1). A distinção dos anéis variou entre as quatro espécies estudadas, porém todas apresentaram anéis suficientemente distintos para aplicação de estudos dendrocronológicos.

A distinção dos anéis também diminuiu com a redução da largura dos anéis e à medida que estes se encontravam mais próximos do centro do tronco. A facilidade de visualização dos anéis decresceu na seguinte ordem: *C. odorata*, *O. cymbarum*, *S. elata* e *H. crepitans* (Tabela1).

C. odorata e *S. elata* apresentaram mesmo padrão de faixas de parênquima marginal que consiste de uma a poucas fileiras de células. É comumente encontrado nas famílias Bignoniaceae, Fabaceae e Meliaceae (Worbes, 2002). *C. odorata* apresentou anéis de crescimento semiporosos, com uma espessa faixa de parênquima claramente visível, acompanhada por variação no tamanho dos vasos, os quais são maiores ao final do período vegetativo (Figura 2a).

S. elata também mostrou variação no tamanho dos vasos. Os vasos são visíveis a olho nu, alguns obstruídos por conteúdo de coloração esbranquiçada e brilhante.

Apresentou faixas de parênquima marginal espessadas dificultando um pouco a visualização dos anéis (Figura 2b).

Um padrão de alternância entre faixas de fibras e parênquima foi encontrado formando os anéis anuais em *H. crepitans*, com a redução da largura das faixas de parênquima e fibras na formação do lenho tardio, ao final da zona de crescimento (Figura 2c). Este tipo de anatomia pode ser encontrado em famílias como Euphorbiaceae, Moraceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, dentre outras (Worbes, 2002).

Tabela1: Tipos de zona de crescimento encontrados e o grau de distinção dos de crescimento. Os padrões descritos foram baseados nos modelos de Coster (1927, 1928) e adaptados por Worbes (1995).

Espécies	Família	Tipo de zona de crescimento	Fenologia foliar*	Grau de distinção dos anéis
<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	Faixa marginal de parênquima acompanhada por variação no tamanho dos vasos.	Decídua	Anéis bastante distintos (1)
<i>Hura crepitans</i>	Euphorbiaceae	Alternância de faixas de fibra e parênquima.	Perenifólia	Anéis pouco distintos (2)
<i>Sterculia elata</i>	Malvaceae	Faixa marginal de parênquima acompanhada por variação no tamanho dos vasos. Presença de faixas radiais de parênquima.	Decídua	Anéis distintos (1)
<i>Ocotea cymbarum</i>	Lauraceae	Variação na densidade da madeira, com lenho inicial menos denso que o lenho tardio.	Semi-decídua	Anéis bastante distintos (3)

*obtidos durante observações na RDSM no período 04/2006-12/2007

O. cymbarum mostrou um padrão de variação na densidade da madeira. O lenho tardio de coloração mais escura (alta densidade) apresentou células pequenas com paredes espessadas, diferindo do lenho inicial (baixa densidade), com células grandes e paredes de espessura mais fina, permitindo uma perfeita delimitação dos anéis anuais (Figura 2d). É comum entre as famílias Annonaceae, Myrtaceae e Lauraceae (Worbes, 2002).

A presença de falsos anéis de crescimento ocorreu em alguns discos de *H. crepitans* e *O. cymbarum*. Entretanto este problema foi solucionado observando-se a continuidade dos anéis ao longo dos raios nos discos.

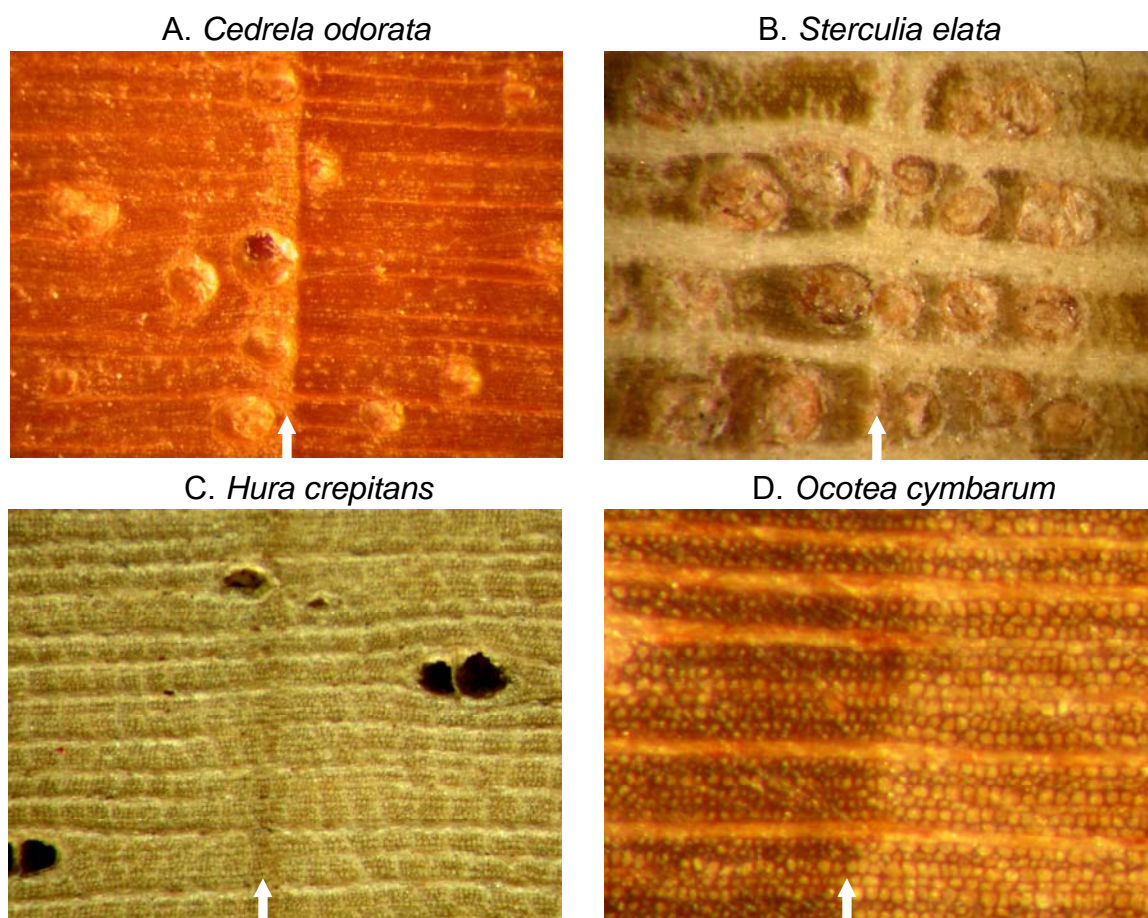


Figura 2. Estrutura anatômica da madeira e os anéis de crescimento das quatro espécies estudadas. A seta branca marca o limite do anel formado anualmente durante o período de redução da atividade cambial.

5.2. Modelagem dos padrões de crescimento das quatro espécies

Todas as quatro espécies apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$) para as relações entre idade e DAP, idade e altura e DAP e altura (Tabela 2), permitindo a modelagem das curvas de crescimento cumulativo para as mesmas. Foram feitas um total de 7.646 medições da largura dos anéis na madeira para as quatro espécies (Tabela 2).

As trajetórias de crescimento cumulativo em diâmetro mostraram diferenças tanto intra como interespecíficas. Aquelas espécies de madeira de densidade alta, como *O. cymbarum* e *C. odorata* apresentaram taxas de crescimento menores que *S. elata* e *H. crepitans*, espécies de madeira de densidade baixa (Figura 3).

As quatro espécies apresentaram uma variação da idade ao atingir o DMD de 50 cm. Esta foi maior para *O. cymbarum*, alcançando idades entre 25 e 80 anos. *H. crepitans* e *S. elata* podem atingir idades entre 25 e 65 anos, enquanto que as menores variações na idade foram encontradas em *C. odorata*, com idades entre 35 a 65 anos para um diâmetro de 50 cm (Figura 3).

Tabela 2. Número de medições da largura dos anéis e altura das árvores utilizados na elaboração dos modelos de crescimento com base nas relações entre idade – DAP, idade – altura e DAP – altura e o coeficiente de correlação das mesmas.

Espécie	Número de medições		Correlação $p(< 0,001)$		
	Largura dos anéis	Altura	Idade – DAP	Idade – Altura	DAP – Altura
<i>Cedrela odorata</i>	1240	32	0,89	0,64	0,71
<i>Ocotea cymbarum</i>	1325	125	0,86	0,73	0,73
<i>Sterculia elata</i>	1321	21	0,88	0,86	0,85
<i>Hura crepitans</i>	3760	67	0,91	0,86	0,76
Total	7646				

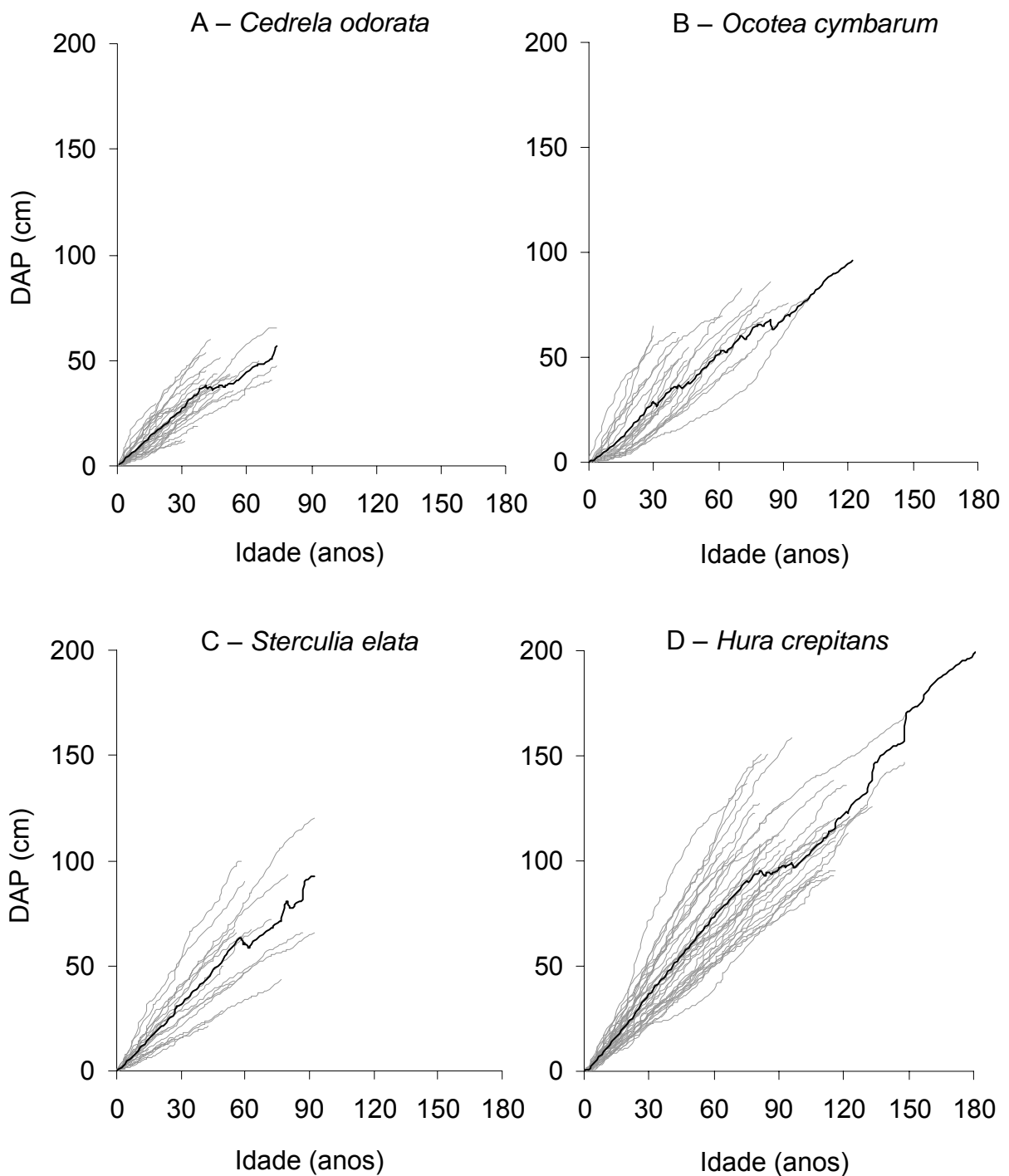


Figura 3. Relação entre idade e crescimento em diâmetro das quatro espécies madeireiras. Cada linha em cinza representa o crescimento individual em diâmetro para cada espécie. O crescimento diamétrico médio é representado pela linha escura.

S. elata e *H. crepitans* atingiram idades máximas de 111 e 195 anos, respectivamente, embora esta última tenha atingido grandes diâmetros nas árvores amostradas. As árvores mais velhas de *C. odorata* e *O. cymbarum* atingiram idades máximas de 74 e 122 anos (Tabela 3).

As curvas médias das relações entre idade e DAP também apresentaram variação entre as espécies estudadas (Figura 4). Para um diâmetro de 50 cm determinado pela IN n° 5 de Dezembro de 2006, as idades médias oscilaram entre 41 anos em *H. crepitans* a mais de 70 anos em *C. odorata* (Tabela 3).

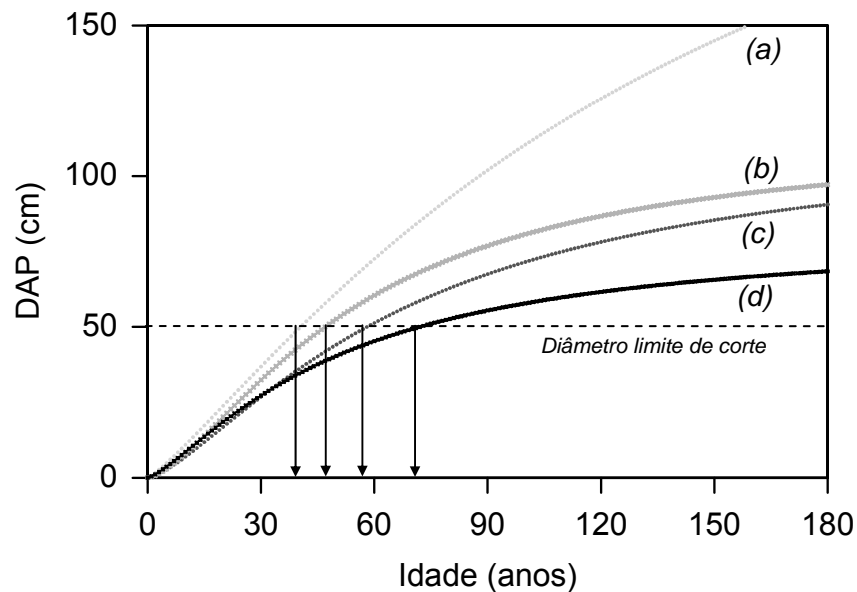


Figura 4. Curvas cumulativas médias do crescimento diamétrico das quatro espécies. A linha tracejada representa o diâmetro limite de derrubada de acordo com a IN n° 5 (IBAMA). (a) *Hura crepitans*, (b) *Sterculia elata*, (c) *Ocotea cymbarum* e (d) *Cedrela odorata*.

Tabela 3: Idades máximas, mínimas e para um diâmetro mínimo de derrubada de 50 cm para cada uma das quatro espécies estudadas e seus respectivos desvios padrão.

Espécie	Idade (anos)		
	Mínima	Máxima	Ao alcançar o diâmetro limite de 50 cm
<i>Cedrela odorata</i>	21	74	72
<i>Sterculia elata</i>	22	111	47
<i>Ocotea cymbarum</i>	27	122	59
<i>Hura crepitans</i>	88	195	41

As quatro espécies atingiram as maiores taxas de incremento diamétrico corrente em idades diferentes. *C. odorata* e *O. cymbarum* atingiram as maiores taxas entre 11 e 12 anos e 19 e 21 anos, com uma taxa média de incremento de 0,94 e 1,01 cm.ano⁻¹, respectivamente (Figura 5a e c). *S. elata* obteve taxas médias de incremento de 1,26 cm.ano⁻¹ em idades entre 19 e 21 anos (Figuras 5b), enquanto *H. crepitans* alcançou taxa média de incremento de 1,29 cm.ano⁻¹ em idades entre 22 e 23 anos (Figura 5d). *C. odorata* e *O. cymbarum*, de madeira densa, apresentaram taxas de incremento diamétrico menores que *H. crepitans* e *S. elata*, com madeira de densidade baixa.

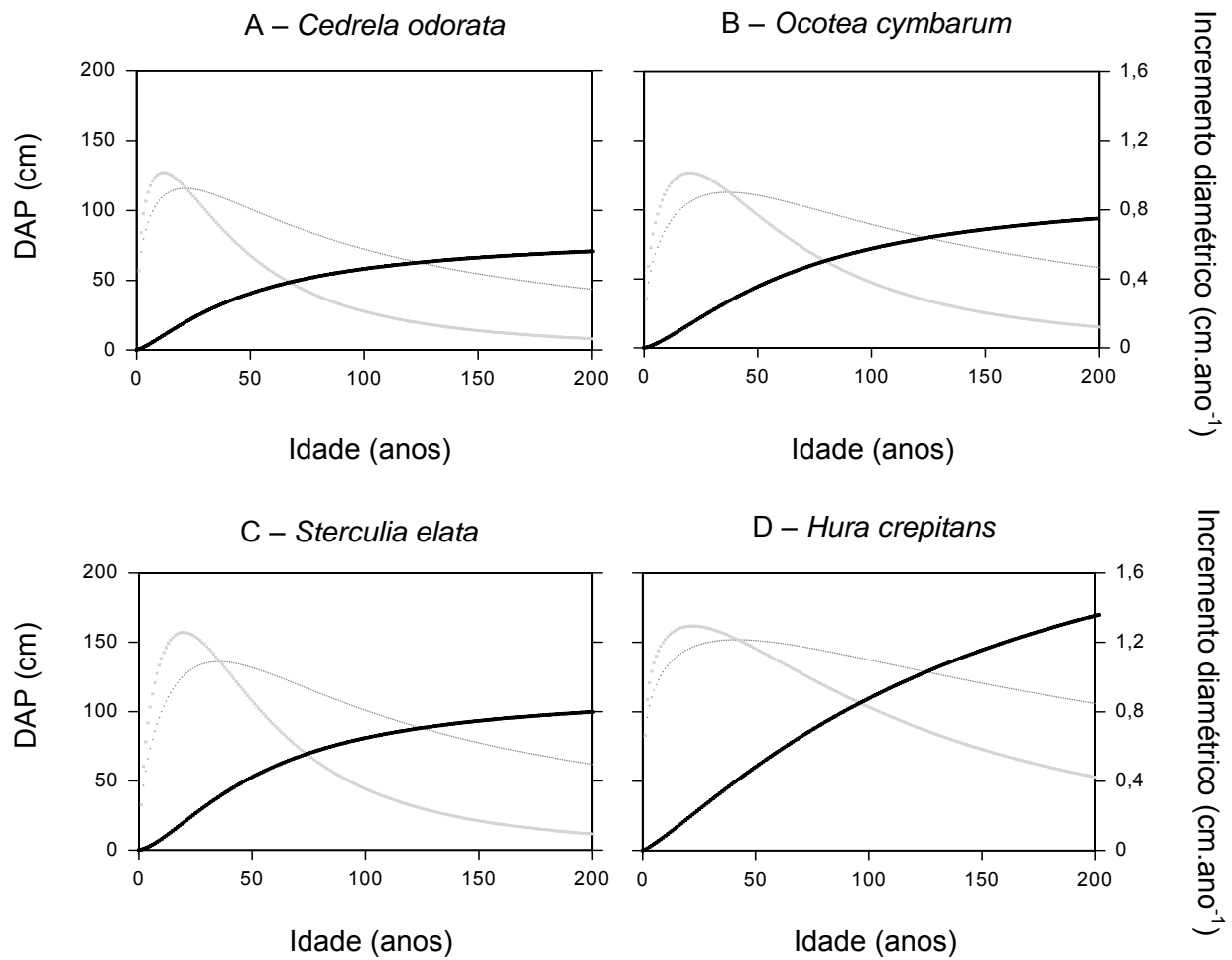


Figura 5. Modelo de crescimento em diâmetro. O crescimento cumulativo em diâmetro é representado pela linha negra, o incremento diamétrico corrente pela linha cinza clara e incremento diamétrico médio anual pela linha cinza escura.

A partir das análises de regressão não – lineares entre idade-DAP, foi possível construir um modelo de crescimento em área basal para cada espécie, utilizando-se a fórmula (2). *C. odorata* e *O. cymbarum* atingiram maiores taxas em 39 e 57 anos, e taxa média de incremento de 3,55 e 5,36 $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$, respectivamente (Figuras 6a e 6b). *S. elata* e *H. crepitans* atingiram maior incremento aos 48 e 104 anos, e taxa média de 7,00 e 14,22 $\text{cm}^2.\text{ano}^{-1}$, respectivamente (Figura 6c e 6d). As espécies de madeira de densidade baixa, *H. crepitans* e *S. elata*, apresentaram taxas de incremento em área basal mais altas que as espécies de madeira densa (*C. odorata* e *O. cymbarum*).

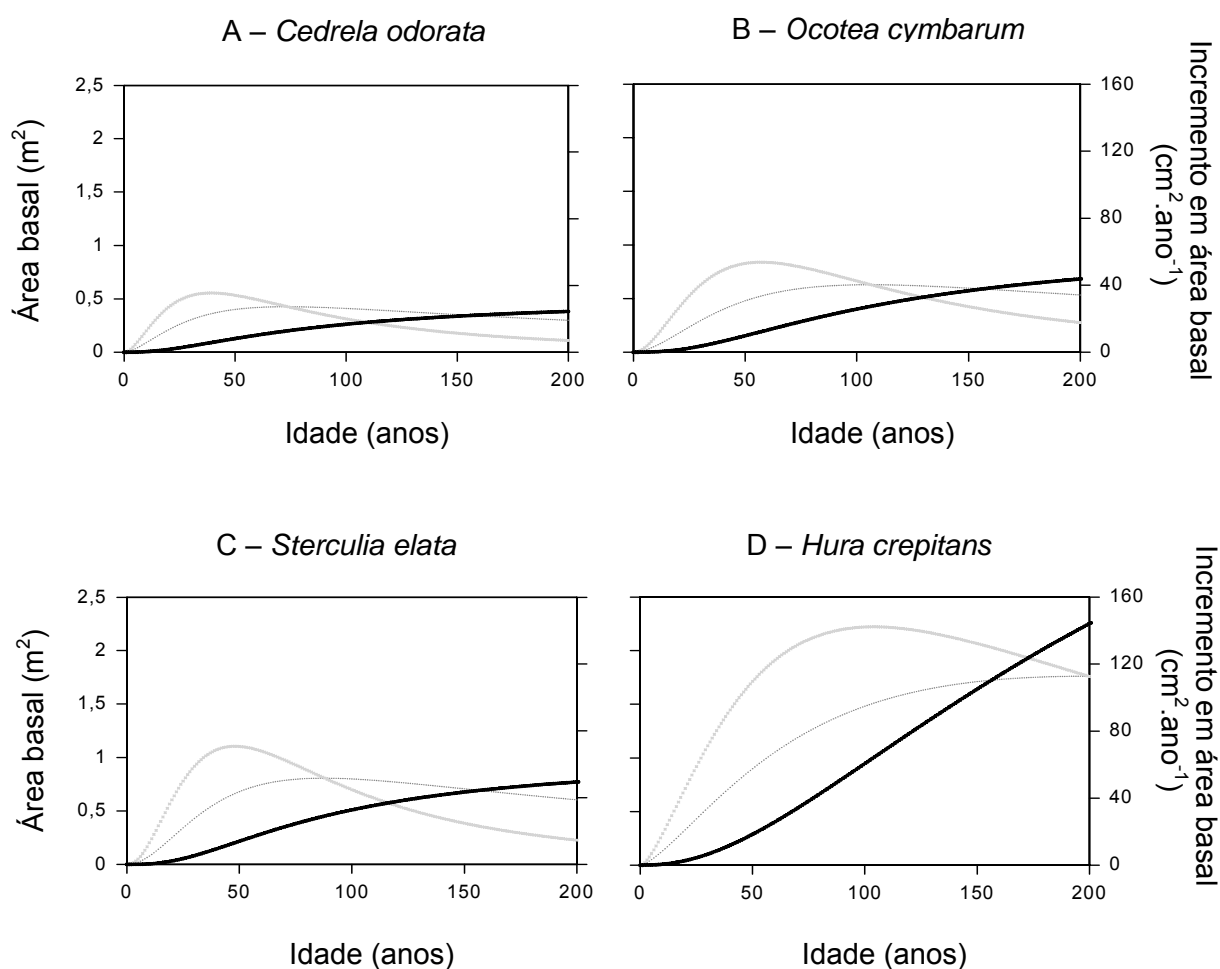


Figura 6. Modelo de crescimento em área basal. O crescimento cumulativo em área basal é representado pela linha negra, o incremento em área basal corrente pela linha cinza clara e incremento em área basal médio anual pela linha cinza escura.

A combinação das análises de regressão não – lineares das relações entre DAP- altura (Figura 7) resultaram num modelo de crescimento em altura para as espécies contemplando todo ciclo de vida da planta. Os maiores valores de incremento corrente em altura de *C. odorata*, *S. elata*, *O. cymbarum* e *H. crepitans* corresponderam a idades de 4, 7, 8 e 6 anos, respectivamente, e taxas máximas corresponderam a 0,96 m/ano para *S. elata*, 0,92 m/ano para *O. cymbarum* 0,61 m/ano para *H. crepitans*, e, finalmente 1,09 m/ano para *C. odorata*.

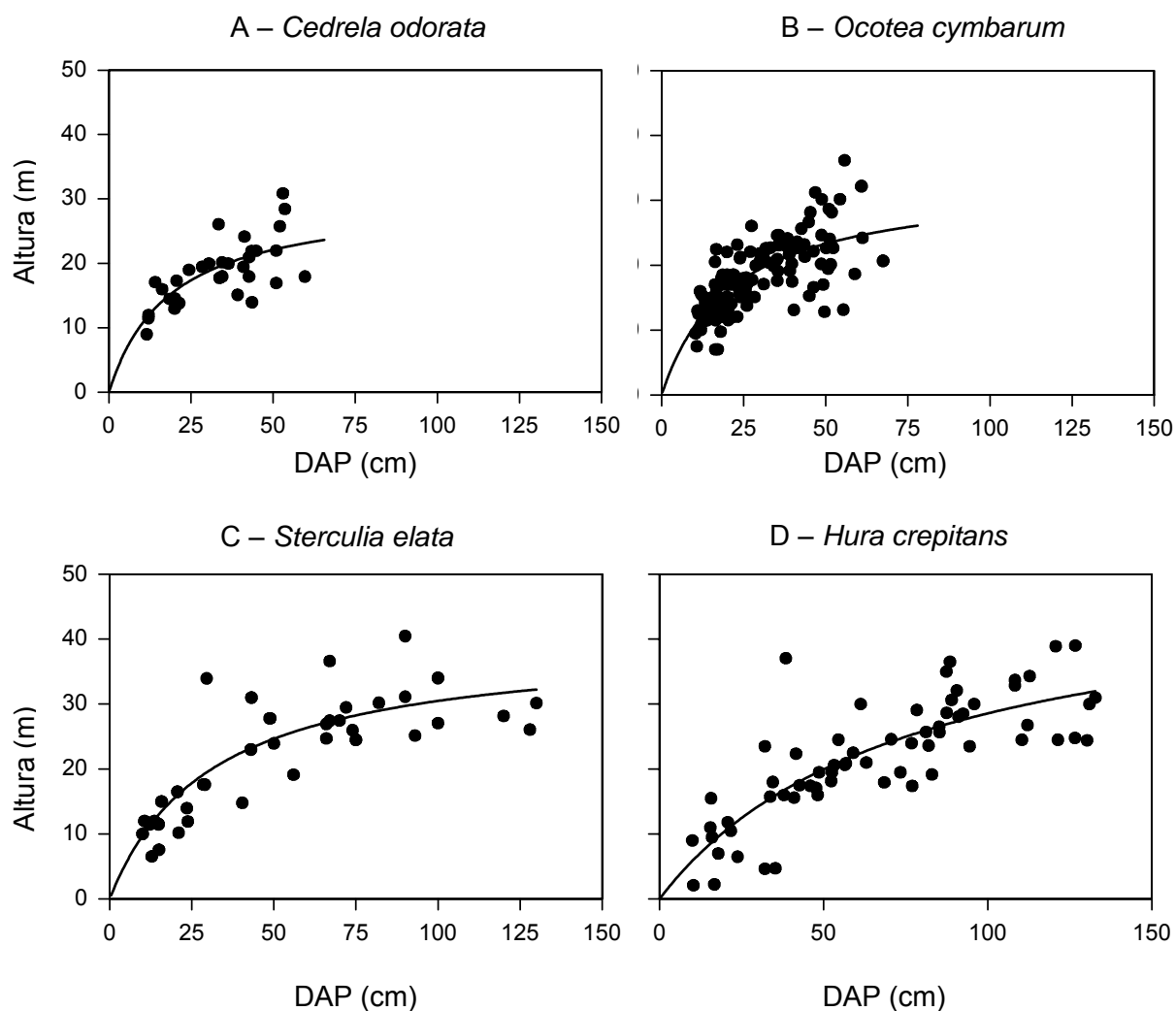


Figura 7. Relação entre DAP e altura. (A) *Cedrela odorata*, (B), *Ocotea cymbarum* (C) *Sterculia elata* e (D) *Hura crepitans*.

Tabela 4. Valores de DAP e altura máximos e mínimos do levantamento florestal, seus desvios padrão e a área basal calculada a partir da relação entre idade e DAP das espécies.

Espécie	DAP (cm)			Altura (m)			Área basal média (cm ²)
	Máximo	Mínimo	Desvio	Máxima	Mínima	Desvio	Média
<i>Cedrela odorata</i>	65,6	11,5	14,0	30,9	9,0	5,0	2,73
<i>Ocotea cymbarum</i>	78,0	10,0	16,4	31,1	7,0	4,6	4,02
<i>Sterculia elata</i>	130,0	10,0	34,9	40,5	6,6	8,8	5,16
<i>Hura crepitans</i>	132,8	10,0	35,0	39,0	2,1	9,1	11,27

A partir dos modelos de crescimento em altura e diâmetro elaborados para cada espécie, pôde-se construir o modelo de crescimento em volume da madeira das mesmas, segundo a fórmula (1) (Schöngart *et al.*, 2007). O período ótimo de corte das árvores é o ponto onde o incremento em volume corrente é máximo, sendo que para cada espécie o pico máximo de volume corrente variou visivelmente (Figura 8).

C. odorata apresentou maiores taxas de incremento em volume corrente ao atingir uma idade média de 45 anos (Figura 8a). Nesta idade a espécie indica um DAP de 37,6 cm (Figura 5a). Já *S. elata* e *O. cymbarum* atingiram o ponto máximo em incremento corrente em volume aos 54 e 63 anos (Figuras 8b e c), quando atingem diâmetros de 56,0 e 53,3 cm, respectivamente (Figuras 5b e c). *H. crepitans* em uma idade média de 125 anos apresentou os maiores valores de incremento máximo corrente entre as quatro espécies (Figura 8d), atingindo diâmetro médio de 128,8 cm (Figura 5d). Tanto *H. crepitans* quanto *S. elata*, apresentaram produção de madeira em volume por m³ superior as duas espécies de madeira densa *C. odorata* e *O. cymbarum*.

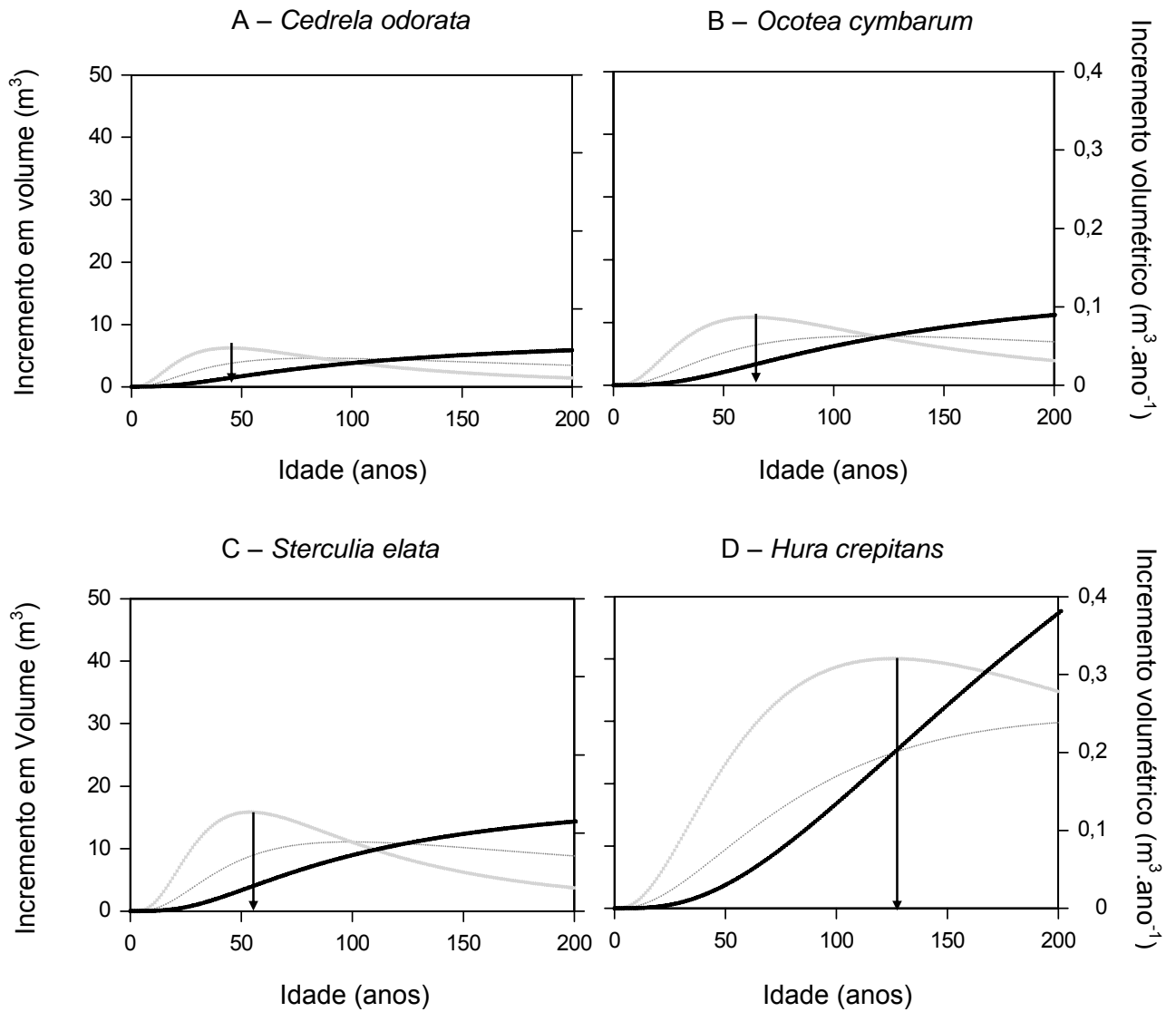


Figura 8. Modelo de crescimento em volume da madeira derivado da combinação do crescimento cumulativo em diâmetro com a relação entre idade e altura das espécies. Crescimento cumulativo em volume (linha escura), incremento corrente do volume (linha cinza clara) e incremento médio em volume anual (linha cinza escura). A seta vermelha indica o ponto máximo do incremento corrente em volume da espécie.

O ciclo de corte, calculado através da passagem média do tempo por uma classe de DAP de 10 cm para a próxima até atingir o diâmetro de corte ótimo, variou pouco entre as espécies, sendo que *H. crepitans* e *S. elata* apresentaram ciclos de corte de 9,7 anos, enquanto *C. odorata* e *O. cymbarum* apresentaram ciclos de 12,0 e 11,8 anos (Tabela 5). Os resultados indicam que espécies de madeira de densidade baixa apresentam ciclos de corte mais curtos do que as espécies de madeira densa.

Tabela 5: O diâmetro mínimo de derrubada (DMD), o ciclo de corte, a idade média ao atingir o diâmetro de corte e a densidade da madeira das espécies.

Espécie	DMD (cm)	Ciclo de corte (anos)	Idade média ao atingir o DMD (anos)	Densidade (g.cm ⁻³)*
<i>Cedrela odorata</i>	37,6	12,0	45	0,52
<i>Ocotea cymbarum</i>	53,3	11,8	63	0,60
<i>Sterculia elata</i>	56,0	9,7	54	0,47
<i>Hura crepitans</i>	128,8	9,7	125	0,39

*Dados obtidos de Wittmann *et al.* (2006b).

Além do modelo de crescimento em volume da madeira, os modelos de crescimento em altura e diâmetro possibilitaram também a construção de modelos de crescimento em biomassa acima do solo para as espécies estimado segundo a fórmula (3).

C. odorata apresentou maior taxa de produção em biomassa de 26 Kg.ano⁻¹ em 45 anos (Figura 9a), ao passo que *O. cymbarum* alcançou uma produção em biomassa máxima de 52 Kg.ano⁻¹ em 63 anos (Figura 9b). *S. elata* atingiu valor de 60 Kg.ano⁻¹ em 54 anos. (Figura 9c), enquanto que *H. crepitans* obteve em 125 anos um valor máximo de 125 Kg.ano⁻¹ (Figura 9d). Espécies de madeira de densidade baixa atingiram maiores taxas de acúmulo em biomassa do que as espécies de madeira de densidade alta.

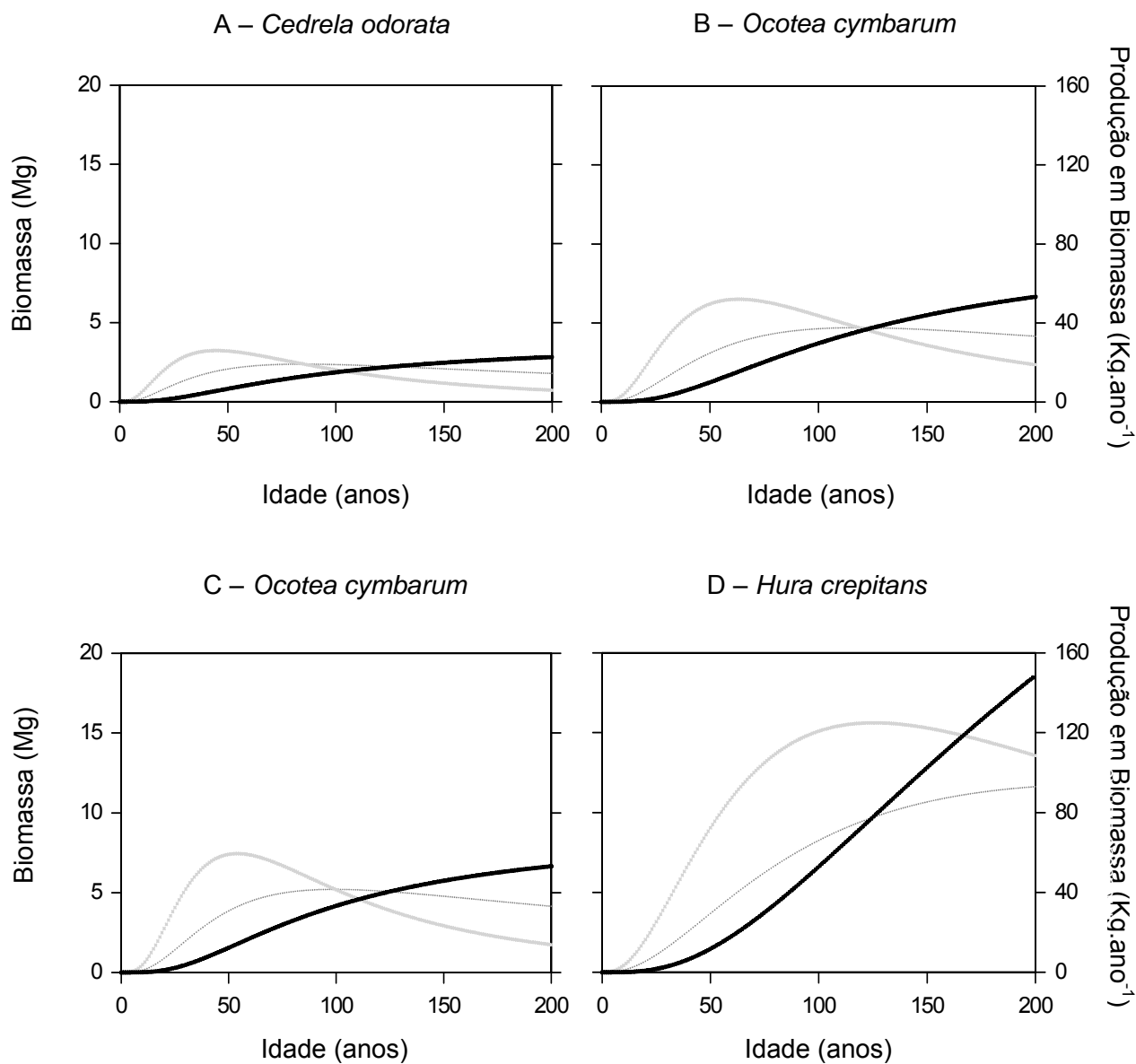


Figura 9. Modelo de crescimento em Biomassa acima do solo das quatro espécies estudadas. Crescimento em Biomassa (linha escura), produção em Biomassa corrente (linha cinza clara) e produção em Biomassa média anual (linha cinza escura).

6. DISCUSSÃO

6.1. Distinção dos anéis anuais na madeira

Todas as quatro espécies estudadas apresentaram distintos anéis de crescimento, porém com diferenças quanto ao grau de distinção entre elas. O grau de distinção diminuiu na ordem seguinte: *C. odorata*, *O. cymbarum*, *S. elata* e *H. crepitans*, o que indica uma pequena tendência das espécies decíduas apresentarem maior distinção dos anéis anuais, como resultados encontrados por Worbes (1999). A distinção dos anéis também diminuiu com a redução da largura dos anéis e com a maior proximidade do centro do disco (Brienen & Zuidema, 2006). Esta variação encontrada no grau distinção dos anéis não afetou as análises dendrocronológicas subsequentes.

Segundo Worbes (1995), a formação de anéis anuais na madeira resulta de mudanças sazonais favoráveis e desfavoráveis nas condições de crescimento arbóreo. Um dos fatores principais atuando no controle do crescimento arbóreo de florestas tropicais é a variação intraanual da precipitação que ocasiona uma distinta estação seca e determina a formação de anéis anuais no xilema das árvores (Worbes, 1999).

Para regiões de áreas alagáveis da Amazônia o principal fator que controla o ritmo de crescimento nas árvores é o pulso de inundação (Junk, 1989). Entretanto, florestas de várzea alta não são alagadas anualmente devido a sua posição topográfica, o que indicaria que o pulso anual de inundação não seria o principal fator controlando os processos ecológicos nestas áreas. Observações fenológicas e medições da liteira (Schöngart *et al.*, 2008b) evidenciam que o ritmo de crescimento

possa ser controlado pela sazonalidade das chuvas, contudo maiores estudos se fazem necessários.

A anualidade dos anéis de crescimento em espécies arbóreas da Amazônia permite análise de fenômenos ecológicos e ambientais identificação e reconstrução das condições climáticas do passado, como também identificar as alterações naturais e a dinâmica das populações (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Worbes, 1995). Além disso, a aplicação das informações armazenadas nos anéis de crescimento permite que estudos dendrocronológicos sejam empregados com o objetivo de investigar a estrutura etária das populações, bem como a dinâmica de crescimento arbóreo em florestas tropicais (Worbes, 2002).

Desta forma, a descrição da estrutura anatômica e delimitação dos anéis anuais da madeira são de suma importância para realização das análises dendrocronológicas e, por conseguinte, para otimização do uso da floresta, dando suporte para estabelecimento de estratégias de manejo florestal ao nível de espécie, fornecendo informações do histórico florestal e conseqüentemente, garantindo maior sustentabilidade na utilização dos recursos madeireiros (Schöngart, 2008).

6.2. Idade das árvores e padrões de crescimento arbóreo

Uma das grandes questões a cerca do uso sustentável de florestas tropicais envolve o crescimento e a idade das árvores. Modelos de crescimento de espécies madeireiras nos trópicos ainda são bastante escassos (Nebel *et al.*, 2001; Schwartz *et al.*, 2002; Sokpon & Biaou, 2002; Nebel & Meilby, 2005; Brienens & Zuidema, 2007; Schöngart *et al.*, 2007), fato este atribuído a problemas de estabelecimento de uma

metodologia específica para determinação da idade das árvores e taxas de crescimento, bem como a alta diversidade de espécies encontrada. Além disso, o atraso no avanço das pesquisas de crescimento arbóreo com base em anéis na madeira nos trópicos se deve ao descrédito na formação de anéis anuais no xilema das árvores nestas regiões, devido às temperaturas terem sido consideradas praticamente constantes durante o ano (Lieberman *et al.*, 1985; Whitmore, 1990).

Atualmente, a maioria das pesquisas sobre idade e crescimento de espécies tropicais é baseada em análises feitas em parcelas permanentes (Condit, 1995), utilizando métodos de medições repetidas durante relativamente curtos períodos de tempo. Outra metodologia para determinar a idade e taxas de incremento é a datação com radio-carbono (Worbes & Junk, 1999). Estas duas metodologias indicam idades máximas entre 1000 e 2000 anos (Condit *et al.*, 1995; Chambers *et al.*, 1998; Laurance *et al.*, 2004), enquanto estudos dendrocronológicos indicam idades máximas entre 500 e 600 anos (Worbes & Junk, 1999; Fichtler *et al.*, 2003).

Resultados encontrados por Chambers *et al.* (1998) de idade estimada de 1370 anos para *Cariniana micrantha* Ducke (Lecythidaceae) é considerado excepcional pois aparentemente foi determinada de um único exemplar (Roig, 2000). Datação por radio-carbono pode ser problemática entre os anos de 1650 e 1950, devido à variação de ^{14}C encontrada na atmosfera neste período. Este fenômeno foi provocado por grandes emissões de carbono por meio da queima de combustível fóssil que ocorreram no período da revolução industrial (*Efeito de Suess*) (Fichtler *et al.*, 2003). Em adição, o alto custo desta metodologia não permite o uso para determinação de grandes amostragens.

A construção de modelos de crescimento de lenhosas com base no crescimento em diâmetro das espécies em curtos períodos de observação, bem como a baixa densidade de espécies comerciais encontradas em florestas tropicais na elaboração de modelos de crescimento, principalmente indivíduos de grandes tamanhos dentro das parcelas estudadas são fatores que limitam muito esta metodologia (Clark & Clark, 1996; Nebel & Meilby, 2005). Além disso, estes modelos monitoram somente uma pequena parte da história de crescimento das árvores e extrapolam estes dados das trajetórias de crescimento em diâmetro de curtos períodos para todo o ciclo de vida da planta, o que os torna simplistas e podem resultar em dados de crescimento arbóreo e estimativas de produção da madeira não realistas, subestimando as taxas de crescimento e, conseqüentemente, superestimando a idade das árvores (Brienen & Zuidema, 2006).

Ao contrário destes métodos de modelagem do crescimento arbóreo, a análise dendrocronológica tem se mostrado uma importante ferramenta, a qual fornece estimativas mais acuradas da idade e do histórico de crescimento arbóreo individual, por meio da informação extraída dos anéis na madeira (Brienen & Zuidema, 2007). Na análise de anéis anuais para a modelagem de crescimento arbóreo das espécies são amostradas árvores que se estabeleceram no dossel com sucesso, o que fornece dados de crescimento em diâmetro mais realistas e representativos do desenvolvimento das árvores (Brienen & Zuidema, 2006).

Diversos estudos têm mostrado a grande variação existente nas taxas de crescimento, tanto dentro como entre espécies de florestas tropicais (Clark & Clark, 2001; Schöngart, *et al.*, 2006; Brienen & Zuidema, 2006). Segundo Brienen & Zuidema (2007), estas diferenças no crescimento dos indivíduos ao longo da vida pode ser o

resultados de diversos fatores atuando em conjunto, como a disponibilidade de água, clima, intensidade de luz recebida, forma e tamanho da copa, danos e fitopatógenos, assim como infestação por cipós e lianas. Isso se reflete em variações de curvas cumulativas comparando indivíduos da mesma espécie (Figura 3).

Os dados obtidos indicaram a ocorrência de variação na idade das árvores com o aumento do diâmetro. Esta variação intra-específica na idade das árvores em grandes diâmetros (> de 60 cm) é causada principalmente pela variação que ocorre na passagem do tempo nas pequenas classes de tamanho (< 20 cm) (Brienen & Zuidema, 2006). Desta forma, o tempo necessário para que uma árvore de determinada espécie se estabeleça no dossel, quando as taxas diamétricas geralmente aumentam devido aos altos níveis de radiação solar, pode variar consideravelmente.

A variação encontrada nos indivíduos, contudo, não impede a modelagem de crescimento arbóreo, pois ao nível das espécies ocorre uma relação bastante significativa entre idade e DAP, o que caracteriza a análise de anéis anuais na madeira uma ferramenta importante na elaboração de estratégias de manejo sustentáveis em florestas tropicais (Brienen & Zuidema, 2006; Schöngart *et al.*, 2007).

Comparando as curvas médias de crescimento observa-se que espécies estudadas apresentam estratégias ecológicas diferenciadas. Altas taxas de incremento em diâmetro em espécies de baixa densidade da madeira como *H. crepitans* e *S. elata* levam a um rápido crescimento em volume da madeira, enquanto que baixas taxas de incremento em diâmetro em *C. odorata* e *O. cymbarum*, duas espécies de madeira de densidade alta, levam a um crescimento em volume mais lento.

Tanto *H. crepitans* como *S. elata* parecem apresentar estratégias de crescimento típicas de espécies pioneiras com ciclos de vida longos (> de 100 anos), caracterizadas

por altos requerimentos de luz para germinação e crescimento (Swaine & Whitmore, 1988). *C. odorata* e *O. cymbarum* possuem características de crescimento típicas de espécies de estágios clímax ou tolerantes à sombra, com capacidade de sobrevivência em longos períodos de baixos níveis de luminosidade e baixas taxas de crescimento arbóreo (Pianka, 1970).

Espécies com baixa densidade da madeira como *H. crepitans* ($0,39 \text{ g.cm}^{-3}$) e *S. elata* ($0,47 \text{ g.cm}^{-3}$) requerem períodos de 41 a 47 anos para extrapolar um diâmetro limite de corte de 50 cm, enquanto que espécies de madeira de densidade alta, tais como *O. cymbarum* ($0,60 \text{ g.cm}^{-3}$) e *C. odorata* ($0,52 \text{ g.cm}^{-3}$), necessitam de períodos entre 59 e 72 anos para ultrapassar um diâmetro de 50 cm. Estes resultados estão de acordo com Schöngart (2008), que verificou a existência de uma correlação entre a densidade da madeira e a idade da espécie ao atingir o DMD estimado a partir das taxas de IC de volume, o que possibilita estimar o período ideal de extração para outras espécies de florestas de várzea da Amazônia Central em função da densidade da madeira.

Os resultados encontrados mostram diferenças nas taxas de incremento em diâmetro e volume da madeira as quais refletem em diferentes ciclos de corte e DMD para as espécies indicando claramente que sistemas policíclicos estabelecendo diâmetro único de derrubada e ciclo de corte para toda e qualquer espécie não suportam a sustentabilidade nas práticas de manejo florestal atuais.

Neste sentido, na aplicação de manejo florestal sustentado em florestas tropicais é imprescindível o levantamento de informações a respeito das taxas de crescimento e idade das árvores específicas para cada espécie, bem como dados de regeneração e

características específicas de cada sítio a ser explorado pela extração de produtos madeireiros.

6.3. Estratégias de manejo florestal

O contínuo uso das florestas de várzea para atividades de agricultura, pecuária e extração da madeira tem causado grandes impactos nos recursos, o que tem ocasionado a necessidade de estabelecimento de estratégias de conservação e manejo florestal destas áreas (Schöngart *et al.*, 2007). Nos últimos anos tem-se observado uma gradual expansão das atividades de manejo florestal baseada em comunidades de pequena e média escala na busca da conversão da exploração manejada da floresta em oportunidade de desenvolvimento regional (Amaral & Amaral, 2000). Projetos como o Programa Piloto para Conservação das Florestas Tropicais do Brasil (PPG7) e a Fundação Floresta Tropical (FFT) têm buscado o desenvolvimento de projetos de manejo florestal ao nível de comunidade para diferentes áreas da Amazônia (Amaral & Amaral, 2000).

Dentre estes modelos enquadra-se o Projeto Mamirauá, com objetivo de proteger as várzeas da RDSM e cuja exploração segue as normas do PMFS, criado pelo IDSM em conjunto com os comunitários e baseado em normas estabelecidas pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (Lei estadual no. 2.416 de 22 de Agosto de 1996).

A FAO estabelece um modelo de extração dos recursos florestais funcionado como guia para a aplicação de um Manejo de Impacto Reduzido (MIR) para os recursos

florestais (Dykstra & Heinrich, 1996). Diversos estudos têm feito a união entre o MIR e a extração seletiva de espécies comerciais como uma estratégia de manejo sustentável, visando à conservação de florestas tropicais e diminuição dos impactos causados pelo manejo florestal (Vidal *et al.*, 2002; Gerwing, 2002). Pesquisas têm mostrado os benefícios da aplicação de MIR com relação à exploração convencional da madeira, tanto em relação à redução dos custos quanto aos benefícios causados pela redução dos danos à floresta (Barreto *et al.*, 1998; Johns *et al.*, 1996; Boltz *et al.*, 2001; Holmes *et al.*, 2002).

Apesar dos inúmeros esforços realizados na elaboração de métodos e técnicas de exploração da madeira na tentativa de conservar e reduzir danos causados as florestas a sustentabilidade do manejo dos recursos florestais ainda não foi alcançada satisfatoriamente. O sucesso dos planos de manejo florestal depende principalmente da sustentabilidade ecológica da produção da madeira que requer informações sobre taxas de crescimento das espécies comerciais (Boot & Gullison, 1995; Brienen & Zuidema, 2006), os quais ainda não são utilizados com freqüência em florestas tropicais.

Schöngart em 2008 desenvolveu um novo sistema de manejo sustentável da madeira de florestas alagáveis de várzea da Amazônia Central (GOL – Growth Orientated Logging), o qual leva em consideração as diferenças na história de crescimento de espécies comerciais com base em suas taxas de crescimento arbóreo a partir da análise de anéis anuais na madeira. Isto representa um importante passo em direção a sustentabilidade do manejo florestal praticado em florestas tropicais.

Atualmente normas de exploração da madeira em regiões tropicais as quais estabelecem diâmetro limite de derrubada e ciclos de corte para os sistemas de manejo de florestas não possuem nenhuma base científica, e não levam em consideração as

diferenças nas estratégias de crescimento e estabelecimento, bem como as especificidades de cada região a ser explorada. Estes fatos levaram a quase eliminação de espécies como *C. pentandra* e *Calophyllum brasiliense* dos mercados regionais e locais na Amazônia Ocidental. Estas foram substituídas por *H. crepitans* e *O. cymbarum*, duas espécies atualmente exploradas comercialmente na região do Médio Solimões (Worbes *et al.*, 2001).

Se as atuais práticas de manejo florestal persistirem, *H. crepitans* e *O. cymbarum* poderão ter o mesmo destino que *C. pentandra* e *C. brasiliense*. *H. crepitans* e *O. cymbarum* podem desaparecer dos mercados madeireiros e, novamente ocorrer a substituição destas por outras espécies ainda pouco exploradas, que por sua vez, sofrerão as pressões de uma extração madeireira insustentável, o que pode ter sérias conseqüências ecológicas como a perda dos recursos genéticos, degradação da floresta, quebra de cadeias alimentares para insetos, peixes, mamíferos, etc.

A extração de *C. odorata* é um outro exemplo de como de atual manejo de florestas de várzea não é adequado. Esta espécie foi intensamente explorada na RDSM a ponto de reduzir drasticamente seus estoques de madeira (Ayres, 1993; Pinedo-Vasquez *et al.*, 2001), e atualmente é considerada uma espécie ameaçada e excluída da extração de madeira da RDSM.

A recente modificação de 11 de dezembro de 2006 (IN n° 5) do Código Florestal Brasileiro abre caminhos para modificações do manejo florestal aplicado atualmente na Amazônia Brasileira. O ciclo de corte no PMFS Pleno varia entre 25 e 35 anos e a produção máxima é de 30 m³/ha. Espécies com baixa intensidade da madeira (menos de 10 m³ por ha) podem ter um ciclo de corte de 10 anos, sendo que para florestas de

várzea, a produção pode exceder 10 m³ por ha, porém a extração se restringe a três árvores por ha.

Levando-se em consideração os dados de distribuição diamétrica fornecidos pelo Manejo Florestal Comunitário da RDSM, observa-se que a espécie *O. cymbarum* apresentaram um padrão de distribuição diamétrica do tipo *J* invertido, apresentando um decréscimo da densidade de árvores com o aumento do diâmetro. A distribuição diamétrica de *O. cymbarum* se concentrou nas classes diamétricas de 20 a 100 cm. (Figura 10).

Foi possível encontrar indivíduos na maioria das classes diamétricas em *H. crepitans*, atingindo densidade máxima de 0,5 indivíduos por ha na classe diamétrica de 110 cm. A alta densidade de indivíduos em classes diamétricas anteriores e posteriores a classe de 50 cm e os altos valores de volume da madeira de *H. crepitans* sugerem que esta espécie tem grande potencial para exploração madeireira dentro da RDSM. Entretanto, a derrubada de indivíduos com diâmetros nas classes entre 50 e 120 cm permitidas por lei é problemática, pois estarão sendo extraídas árvores que ainda não alcançaram a sua produção ótima de madeira (Figura 8d).

Marinho (2008), ao analisar a estrutura populacional de espécies como *H. crepitans*, *O. cymbarum* e *S. elata* ocorrendo em florestas de várzea do setor Jarauá da RDSM, observou que estas espécies apresentam baixa densidade de indivíduos em classes diamétricas acima de 50 cm (2.8, 1.3 e 0.5 ind./ha, respectivamente), sendo que *H. crepitans* e *S. elata* apresentam uma baixa taxa de estabelecimento visível pelo pequeno número de indivíduos observados em classes diamétricas baixas.

Os ciclos de corte entre 10 e 12 anos determinados para as espécies neste trabalho são valores próximos ao permitido pelas normas de manejo florestal da IN n° 5

(ciclo de corte de 10 anos). Entretanto, aplicando-se um diâmetro de derrubada limite de 50 cm pode não ser sustentável para espécies como *S. elata* e *C. odorata*, considerando-se a abundância destas espécies na região. Considerando-se a abundância de *H. crepitans* e *O. cymbarum*, o manejo pode ser sustentável se considerar os DMDs determinados para cada espécie neste estudo.

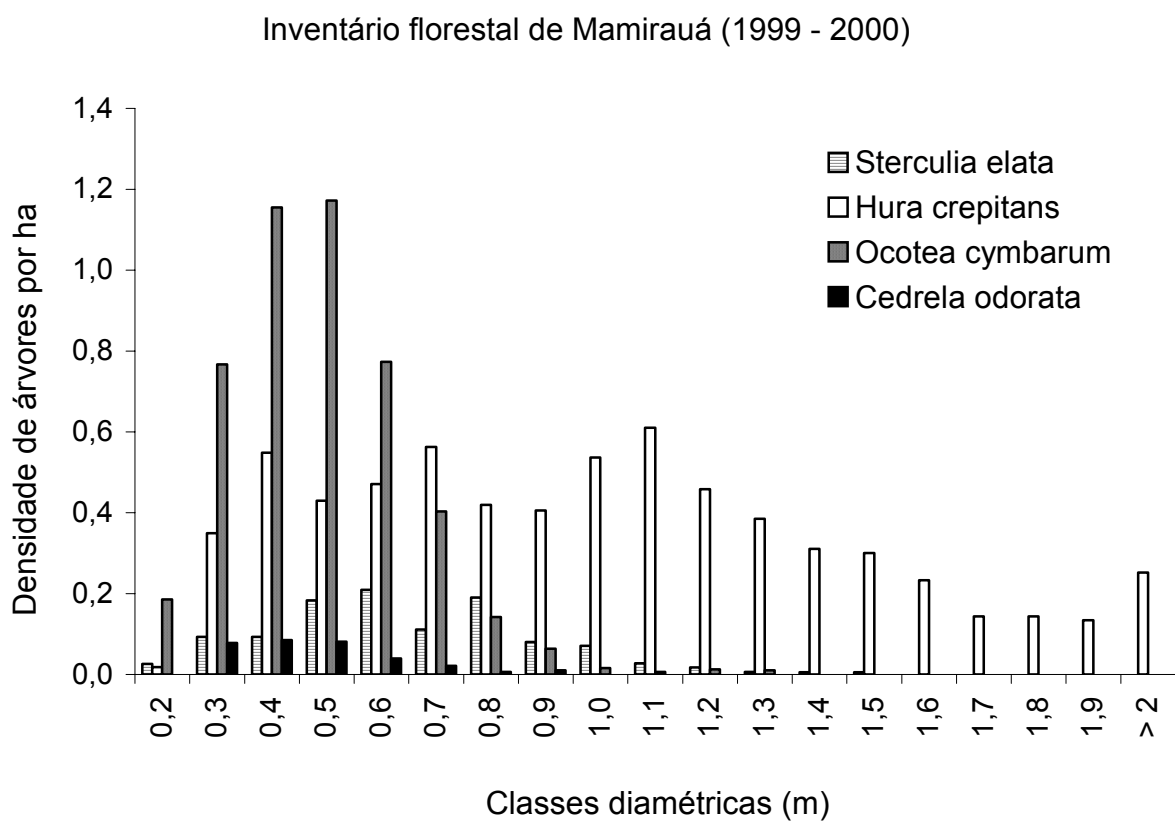


Figura 10. Distribuição diamétrica das quatro espécies madeireiras. Dados do inventário florestal de 1999 a 2000 obtidos do Manejo Florestal Comunitário da RDSM.

Os resultados mostram que tanto *H. crepitans* quanto *S. elata* apresentaram taxas de crescimento arbóreo relativamente rápidas, o que as torna espécies potenciais para recuperação de áreas degradadas e reflorestamento. Já *O. cymbarum* e *C. odorata*, duas espécies de madeira de densidade alta, apresentaram taxas mais lentas de crescimento arbóreo.

O. cymbarum é uma espécie cuja madeira é freqüentemente utilizada pelas comunidades ribeirinhas na construção de casas, móveis e tábuas. *C. odorata* é uma espécie bastante valorizada no mercado madeireiro, chegando a custar R\$ 120,00/m³ no ano de 2004 na região do alto Rio Solimões (Schöngart *et al.*, 2008a). Isto faz com que reflorestamentos com *C. odorata* venham a ser um importante caminho para o enriquecimento dos estoques de madeira visando o aumento das populações desta espécie. Através de um manejo florestal sustentável comunidades ribeirinhas podem se beneficiar com produtos madeireiros de alta qualidade e de valor comercial.

Os efeitos positivos da liberação do dossel sobre as taxas de incremento em diâmetro observados em espécies de madeira de densidade alta (Kammesheidt *et al.*, 2003) indicam que as taxas de crescimento arbóreo encontradas em *C. odorata* poderiam ser aceleradas através de aplicação deste tipo de tratamento silvicultural. Entretanto devem ser realizados mais estudos a respeito das estratégias de regeneração da espécie dentro da reserva.

Os resultados indicam que um ciclo de corte de 25 anos é inadequado para execução de manejo florestal sustentável das quatro espécies estudadas. Todas apresentaram ciclos de corte inferiores (entre 10 e 12 anos) ao valor exigido por lei, indicando que estes recursos madeireiros não estão sendo manejados eficazmente. A IN n° 5 permite a aplicação de ciclo de corte inicial de 10 anos com volume máximo de

10 m³/ha ou mais, com retirada de apenas 3 árvores por ha para manejos de baixa intensidade. Com isso, é possível manejar de forma mais adequada os estoques de *O. cymbarum* e *H. crepitans* aplicando ciclos de corte de 12 e 10 anos, respectivamente, utilizando, contudo, os DMDs aqui determinados para manejo florestal mais específico, garantindo assim a sustentabilidade do uso da madeira destas espécies dentro da reserva. Todavia, é necessária a garantia de que ao retirar árvores de determinada espécie em dado local seja feito estabelecimento de indivíduos de mesma espécie.

A distribuição diamétrica de *H. crepitans* mostra ampla distribuição de árvores na maioria das classes diamétricas. Contudo, o modelo de crescimento da espécie mostra que em classes diamétricas entre 50 e 130 cm não foi atingida produção máxima de madeira. Neste sentido, ao retirar árvores com diâmetros acima de 130 cm ainda restarão árvores suficientes nas classes inferiores para garantir renovação dos estoques extraídos, as quais permitem a garantia de produção de diásporos para a regeneração e utilização da produtividade máxima da espécie otimizando a exploração da madeira de *H. crepitans*.

O mesmo deve valer para *O. cymbarum* e *S. elata*. Porém, a regeneração destas espécies deve ser assegurada, o que implica em execução de estudos ecologia da população, particularmente de regeneração e estabelecimento levando-se em consideração a influência de fatores ambientais (solo, clima, disponibilidade de luz, inundação, etc).

6.4. Desafios futuros

Os resultados do presente trabalho mostram que o atual critério de manejo florestal que estabelece ciclo de corte e diâmetro limite para corte únicos, extração de 5 árvores por ha, não se mostra eficaz na garantia de manutenção dos estoques de madeira para explorações subseqüentes, o que torna estes critérios inviáveis para conservação da biodiversidade por meio de manejos florestais sustentáveis em florestas de várzea. Além disso, a ausência de informações a respeito dos processos que envolvem a dinâmica e ecologia de florestas alagáveis na elaboração de estratégias de manejo é um fator agravante na questão da insustentabilidade da exploração dos recursos florestais em florestas de várzea.

Ciclos de corte da madeira só possibilitam sustentabilidade se as espécies extraídas conseguem se regenerar e estabelecer dentro da floresta, garantindo estoques de madeira para as próximas extrações. Uma importante questão é a ausência de dados básicos de estrutura populacional e estabelecimento e regeneração de florestas tropicais para subsidiar planos de manejo florestal, principalmente em florestas de áreas alagáveis da Amazônia.

Pesquisas têm sido feitas no sentido de investigar a influência do pulso de inundação, condições de luz, suprimento de nutrientes e disponibilidade de água no estabelecimento de sementes e plântulas em áreas alagáveis (Parolin, 2001; Wittmann & Junk, 2003; Ferreira *et al.*, 2005). Wittmann & Junk (2003) enfatizam importância de novos estudos focando os processos de germinação, crescimento e taxa de mortalidade de plântulas de espécies exploradas comercialmente e suas relações com fatores do ambiente como luz e inundação.

Produtos florestais não madeireiros também devem ser levados em consideração na elaboração de planos de manejo de florestas de várzea. Diversos produtos tais como resinas, óleos, frutos, fibras têxteis, taninos e produtos medicinais, são extraídos de espécies encontradas nas florestas de várzea (Wittmann *et al.*, 2006b), o que demonstra o alto potencial destas florestas para este tipo de exploração dos recursos.

Novos modelos de exploração madeireira que levam em consideração o crescimento e idade das árvores estão sendo criados (Schöngart, *et al.*, 2003; Brien *&* Zuidema 2006; Schöngart, 2007, 2008). Mas o desafio de converter dados de pesquisas científicas em políticas públicas ainda é grande. O caminho ainda é longo e espera-se que a partir desta mudança da IN n° de 2006, o qual permite a alteração do diâmetro limite de corte e ciclo de corte atualmente requeridos para o manejo florestal com base em pesquisas científicas, abra portas para a elaboração de manejos florestais específicos e sustentáveis e conseqüentemente, possibilitem que o quadro de exploração da madeira venha a se modificar com o tempo nas florestas alagáveis da Amazônia brasileira.

7. CONCLUSÕES

As quatro espécies estudadas apresentam diferenças nas taxas de crescimento arbóreo. Isto implica que sistemas policíclicos estabelecendo diâmetro único de derrubada e ciclo de corte para estas espécies não garantem a manutenção dos estoques de madeira na floresta e, portanto, não são sustentáveis.

O DMD sugerido para *H. crepitans* é de 130 cm, quando a espécie atinge sua produção ótima de madeira, possibilitando o aproveitamento máximo do recurso, bem

como a permanência de indivíduos em idade reprodutiva e conseqüente reposição dos estoques desta espécie.

Os resultados mostram que para *C. odorata*, uma espécie com baixa densidade de indivíduos na reserva, o DMD encontrado foi inferior a 50 cm (37,60 cm), o que demonstra a necessidade de aplicação de tratamentos de enriquecimento de indivíduos para reposição dos estoques para futuras explorações.

Para *O. cymbarum* e *S. elata* DMDs sugeridos são de 53 e 56 cm, respectivamente, dentro do diâmetro limite estabelecido por lei. No entanto, a baixa densidade de indivíduos encontrada em *S. elata* indica também a importância de aplicação de tratamentos silviculturais de enriquecimento para esta espécie atingir níveis manejáveis de seus estoques madeireiros.

Os ciclos de corte variaram entre 10 anos para as espécies de madeira de densidade baixa e 12 anos para as espécies de madeira densa. Entretanto, deve ser ressaltada a importância do uso de DMD aqui sugeridos para cada espécie objetivando a garantia da manutenção dos estoques das mesmas.

A dendrocronologia se mostrou uma ferramenta bastante útil na aplicação de modelos de crescimento arbóreo com intuito de contribuir para elaboração de estratégias de manejo florestal que suportam maior sustentabilidade do uso dos recursos florestais. Contudo, maiores estudos para compreensão da estrutura das populações, crescimento e reprodução das espécies madeireiras de florestas de várzea devem ser realizados.

8. REFERÊNCIAS

- Achard, F.; Eva, H.D.; Stibig, Hans-Jürgen; Mayaux, P.; Gallego, J.; Richards, T.; Malingreau, Jean-Paul. 2002. Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests. *Science*. 297: (5583) 999 – 1002.
- Alencar, A.; Nepstad, D.; McGrath, D.; Moutinho, P.; Pacheco, P.; Del Carmen, M.; Diaz, V.; Soares – Filho, B.S. 2004. Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Ipam, http://www.ipam.org.br/publicacoes/livros/resumo_desmatamento.php
- Albernaz, A.L. & Ayres, J.M. 1999. Selective Logging along the Middle Solimões River. *In: Padoch, C.; Ayres, J. M.; Pinedo-Vasquez, M.; Henderson, A. (eds.). Várzea – Diversity, Development, and Conservation of Amazonia's Whitewater Floodplains.* New York, NYBG Press.
- Amaral, P. & Amaral, M.N. 2000. Manejo florestal comunitário na Amazônia brasileira: situação atual, desafios e perspectivas. Brasília, DF: Instituto Internacional de Educação do Brasil (IIEB). 58 pp.
- Anderson, A.; Mousasticoshvily, I.; Macedo, D. 1999. Logging of *Virola surinamensis* in the Amazon Floodplain: Impacts and alternatives. *In: Padoch, C.; Ayres, J. M.; Pinedo-Vasquez, M.; Henderson, A. (eds.). Várzea – Diversity, Development, and Conservation of Amazonia's Whitewater Floodplains.* New York, NYBG Press.
- Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Broadbent, E.N.; Oliveira, P.J.C.; Keller, M.; Silva, J.N.M. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*. 310: 480 – 482.
- Ayres, J.M. 1993. *As matas de várzea do Mamirauá*. MCT/CNPq/Sociedade Civil Mamirauá. Brasília, Distrito Federal. 123 pp.
- Barreto, P.; Amaral, P.; Vidal, E.; Uhl, C. 1998. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 108 (1–2): 9 – 26.
- Barros, A.C. & Uhl, C. 1995. Logging along the Amazon River and estuary: Patterns, problems and potential. *Forest Ecology and Management*. 77: 87–105.
- Barros, A.C. & Uhl, C. 1999. The economic and social significance of logging operations on the Floodplains of the Amazon estuary and prospects for ecological

- sustainability. In: Padoch, C.; Ayres, J. M.; Pinedo-Vasquez, M.; Henderson, A. (eds.). *Várzea – Diversity, Development, and Conservation of Amazonia's Whitewater Floodplains*. New York, NYBG Press.
- Boltz, F.; Carter, D.R.; Holmes, T.P.; Pereira, R.Jr. 2001. Financial returns under uncertainty for conventional and reduced impact logging in permanent production forests of the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*. 39: 387 – 398.
- Borchert, R.; Rivera, G.; Hagnauer, W. 2002. Modification of vegetative phenology in a tropical semideciduous forest by abnormal drought and rain. *Biotropica*. 34: 27 – 39.
- Bormann, F.H. & Berlyn, G. 1981. Age and growth rate of tropical trees: new directions for research. *Yale University: School of Forestry and Environmental Studies. Bulletin*. New Haven.
- Boot, R.G.A. & Gullison, R.E. 1995. Approaches to developing sustainable extraction systems for tropical forest products. *Ecological Applications*. 5(4): 896 – 903.
- 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*. 146(1): 1 – 12.
- 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
- Brienen, R.J.W. & Zuidema, P.A. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. The Ecological Society of America. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5(6): 302 – 306.
- Cannell, M.G.R. 1984. Woody biomass of forest stands. *Forest Ecology and Management*. 8 (3 – 4): 299 – 312.
- Carvalho, G.; Barros, A.C.; Moutinho, P.; Nepstad, D. 2001. Sensitive Development Could Protect Amazonia Instead of Destroying It. *Nature*. 409: 131.
- 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.
- Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J.P. 1998. Ancient trees in Amazonia. *Nature* 39: 135 – 136.

- Cintron, B.B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. In: Burns, R.M.; Honkala, B.H. (eds.). *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 654: 250 – 257.
- Clark, D.B. & Clark, D.A. 1996. Abundance, growth and mortality of very large trees in neotropical lowland rain forest. *Forest Ecology and Management*. 80: 235 – 244.
- Clark, D.A.; Clark, D.B. 2001. Getting to the canopy: Tree height growth in a neotropical rain forest. *Ecology*. 82: 1460 – 1472.
- Condit, R. 1995. Research in large, long-term tropical forest plots. *Tree*. 10: 18 – 22.
- Condit, R.; Hubbel, S.P.; Foster, R.B. 1995. Demography and harvest potential of Latin American timber species: data from a large, permanent plot in Panama. *Journal of Tropical Forest Science*. 7: 599 – 622.
- De Graaf, N.N.; Filius, A.M.; Huesca Santos, A.R. 2003. Financial analysis of sustained forest management for timber: Perspectives for application of the CELOS management system in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*. 177: 287 – 299.
- Denevan, W.M. 1976. The aboriginal population of Amazonia. In: Denevan, W. M. (ed.). *The native population of the Americas in 1492*. The University of Wisconsin Press. 205 – 234.
- De Simone, O.; Junk, W.J.; Schmidt, W. 2003. Central Amazon Floodplain Forests: Root Adaptations to Prolonged Flooding. *Russian Journal of Plant Physiology*. 50(6): 848 – 855.
- Dezseo, N.; Worbes, M.; Ishii, I.; Herrera, R. 2003. Growth rings analysis of four tropical tree species in seasonally flooded forest of the Mapire River, a tributary of the lower Orinoko River, Venezuela. *Plant Ecology*. 168: 165 – 175.
- Dünisch, O.; Montoia, V.R.; Bauch, J. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the Central Amazon. *Trees – Struct. Funct.* 17: 244 – 250.
- Dykstra, J.A. & Heinrich, R. 1996. *FAO model code of forest harvesting practice*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.
- Eckstein, D.; Sass, U.; Baas, P. 1995. Growth periodicity in tropical trees. *IAWA Journal*. 16: 325 – 442.

- Enquist, B.J.; Leffler, A.J. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. *Journal of Tropical Ecology*. 17: 41 – 60.
- Enright, N.J.; Hartshorn, G.S. 1981. The demography of tree species in undisturbed tropical rainforest. In: Bormann F.H.; Berlyn, G. (eds.). *Age and growth rate of tropical trees; new directions for research*. Yale University: School of Forestry and Environmental Studies. 94: 107 – 119.
- Fearnside, P.M. 1999. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*. 26: 305 – 321.
- Ferreira, L.V. 1991. *O efeito do período de inundação na zonação de comunidades, fenologia e regeneração em uma floresta de Igapó na Amazônia Central*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 161 pp.
- Fichtler, E. Clark, D.A.; Worbes, M. 2003. Age and long-term growth of trees in an old-growth tropical rain forest, based on analyses of tree rings and C-14. *Biotropica*. 35: 306 – 317.
- Fichtler, E.; Trouet, V.; Beeckman, H.; Coppin, P.; Worbes, M. 2004. Climatic signals in tree rings of *Burkea africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. *Trees*. 18: 442 – 451.
- Francis, J. K. 1990. *Hura crepitans* L. Sandbox, molinillo, jabillo. In: SO-ITF-SM-38. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 270 – 274.
- Fritts, H.C. 1976. *Tree rings and climate*. London - Academic Press. 567 pp.
- Furch, K. 1984. Water chemistry of the Amazon Basin. The distribution of chemical elements among freshwaters. In: Sioli, H. (ed.). *The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin*. Junk Publishers. Dordrecht. 176 – 200.
- Furch, K. 1997. Chemistry of Várzea and Igapó soils and nutrient inventory of their floodplain forests. In: Junk, W.J. (ed.). *The Central Amazon Floodplains. Ecology of a Pulsing System*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 47 – 67.

- Gama, J.R.V.; Bentes – Gama, M. de Matos.; Scolforo, J.R.S. 2005. Sustainable management for floodplain forest in eastern Amazonian. *Rev. Árvore*. 29(5): 719 – 729.
- Gerwing, J.J. 2002. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 157: 131 – 141.
- Gourlay, I.D. 1995. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species – A review. *IAWA Journal*. 16: 353 – 359.
- Hartshorn, G.S. 1995. Ecological basis for sustainable development in tropical forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 26: 155 – 175.
- Higuchi, N.; Hummel, A.C.; Freias, J.V.; Malinowski, J.R.E.; Stokes, R. 1994. Exploração florestal nas várzeas do Estado do Amazonas: seleção de árvore, derrubada e transporte. *Proceedings of the VII Harvesting and Transportation of Timber Products*. IUFRO/UFPR, Curitiba, Brasil. 168 – 193.
- Holmes, T.P.; Blate, G.M.; Zweede, J.C.; Pereira, R.; Barreto, P.; Boltz, F.; Bauch, R. 2002. Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 163: 93 – 110.
- IBGE. 2000. Censo Demográfico 2000: Resultados Preliminares. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)*. Rio de Janeiro. 172 pp.
- Irion, G.; Junk, W.J.; Mello, J.A.S.N. 1997. The large Central Amazonian river floodplain near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. *In: the Central Amazonian Floodplains. Ecology of a Pulsing System*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 23 – 46.
- Johns, J.S.; Baretto, P.; Uhl, C. 1996. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 89: 59 – 77.
- Junk, W.J. 1989. Flood tolerance and tree distribution in Central Amazonian floodplains. *In: Nielsen, L.B.; Nielsen, I.C.; Baisley, H. (eds.). Tropical Forests: Botanical Dynamics, Speciation and Diversity*. Academic Press, London. 47 – 64.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in floodplain systems. *In: Dodge, D.P. (eds.). Proceedings of the International Large River Symposium*. Cen. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106: 110 – 127.

- Junk, W.J. & Piedade, M.T.F. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. *In: The central Amazon Floodplain. Ecology of a Pulsing system.* Springer – Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 147 – 185.
- Kammescheidt, L.; Gagang, A.A.; Schwarzwaller, W.; Weidelt, H. 2003. Growth patterns of dipterocarps in treated and untreated plots. *Forest Ecology and Management.* 174: 437 – 445.
- Kubitzki, K. & Zibursk, A. 1994. Seed dispersal in flood plain forests of Amazonia. *Biotropica.* 26(1): 30 – 43.
- Lambin, E.F.; Geist, H.J.; Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources.* 28: 205 – 41.
- Lamprecht, H. 1989. *Silviculture in the tropics: tropical forest ecosystems and their tree species - possibilities and methods for their long-term utilization.* GTZ, Eschborn.
- Laurance, W.F.; Nascimento, H.E.M.; Laurance, S.G.; Condit, R.; D'Angelo, S.; Andrade, A. 2004. Inferred longevity of Amazonian rainforest trees based on a long-term demographic study. *Forest Ecology and Management.* 190: 131 – 143.
- Lieberman, D.; Lieberman, M.; Hartshorn, G.; Peralta, R. 1895. Growth rates and age-size relationships of Tropical Wet Forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology.* 1(2): 97 – 109.
- Lima, J.R.A. & Santos, Joaquim dos.; Higuchi, N. 2005. Situação das indústrias madeireiras do Estado do Amazonas em 2000. *Acta Amazonica.* 35(2): 125 – 132.
- Loureiro, A.A. & Silva, M.F. da. 1968. *Catálogo das madeiras da Amazônia.* Belém, INPA. 1 – 2.
- Margulis, S. 2003. *Causas do desmatamento da Amazônia brasileira.* Brasília, Banco Mundial. 100 pp.
- Marinho, T.A. da S. 2008. Distribuição e estrutura da população de quatro espécies madeireiras em uma floresta sazonalmente alagável na Reserva de desenvolvimento sustentável Mamirauá, Amazônia Central. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 71 pp.
- Marques, C.A. 2001. Importância econômica da família Lauraceae Lindl. *Floresta e Ambiente.* 8(1): 195 – 206.

- Martini, A.; Araújo, R.; N., Uhl, C., 1998. Espécies de Árvores Potencialmente Ameaçadas pela Atividade Madeireira na Amazônia. Imazon, Belém, Brazil, Série Amazônia N° 11.
- Nebel, G. & Kvist, L.P. 2001. A review of Peruvian flood plain forests: ecosystems, inhabitants and resource use. *Forest Ecology and Management*. 150: 3 – 26.
- Nebel, G.; Dragsted, J.; Simonsen, T.R.; Vanclay, J.K. 2001. The Amazon floodplain forest tree *Maquira coriacea* (Karsten) C.C. Berg: Aspects of ecology and management. *Forest Ecology and Management*. 150: 103 – 113.
- Nebel, G. & Meilby, H. 2005. Growth and population structure of timber species in Peruvian Amazon flood plains. *Forest Ecology and Management*. 215: 1 – 3.
- Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A.C.; Alencar, A.; Capobianco, J.; Bishop, J.; Moutinho, P.; Lefebvre, P.; Silva, U. 2001. Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests. *Forest Ecology and Management*. 5524: 1 – 13.
- Nutto, L.; Watzlawick, L.F. 2002. Relações entre fatores climáticos e incremento em diâmetro de *Zanthoxylum rhoifolia* Lam. e *Zanthoxylum hyemale* St. Hil. Na região de Santa Maria, RS. *Embrapa Florestas. Bol. Pesq. Fl. Colombo*. PR. 45: 41 – 55.
- Ohly, J.J. 2000. Development of central Amazonia in the modern era. In: Junk, W.J.; Ohly, J.J.; Piedade, M.T.F.; Soares, M.G.M. (eds.). *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for Sustainable Management*. Backhuys Publisher, Leiden. 75 – 94.
- Parolin, P. 2001. Morphological and physiological adjustments to waterlogging and drought in seedlings of Amazonian floodplain trees. *Oecologia*, 128: 326-335.
- Parolin, P. 2002. Bosques inundados en la Amazonia Central: Su aprovechamiento actual y potencial. *Ecologia Aplicada*. 1(1): 111 – 114.
- Parolin, P.; De Simone, O.; Haase, K.; Waldhoff, D.; Rottenberger, S.; Kuhn, U.; Kesselmeier, J.; Kleiss, B.; Schmidt, W.; Piedade, M.T.F.; Junk, W.J. 2004. Central Amazonian floodplain forests: tree adaptations in a pulsing system. *The Botanical Review*. 70(3): 357 – 380.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Parolin, P. 2000. The flood pulse and photosynthetic response of tree in a white water floodplain (Várzea) of Central Amazon, Brazil. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*. 27: 1734 – 1739.

- Piedade, M.T.F. 1985. *Ecologia e biologia reprodutiva de Astrocaryum jauari Mart. (Palmae) como exemplo de população adaptada às áreas inundáveis do Rio Negro (igapós)*. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 188 pp.
- Piedade, M.T.F.; Junk, W.J.; Adis, J.; Parolin, P. 2005. Ecologia, zanação e colonização da vegetação arbórea das Ilhas Anavilhanas. *Pesquisas, Botânica*. 56: 117 – 143.
- Pinedo-Vasquez, M.; Zarin, D.J.; Coffey, K.; Padoch, C.; Rabelo, F. 2001. Post-boom logging in Amazonia. *Human Ecology*. 29: 219–239.
- Prance, G.T. 1980. A terminologia dos tipos de florestas Amazônicas sujeitos à inundação. *Acta Amazonica*. 10: 495 – 504.
- Prance, G.T. 1989. American Tropical Forests. In: Lieth, H.; Weger, M.J.A. (eds.). *Tropical Rain Forest Ecosystems. Ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam. 14: 99 – 132.
- Putz, F.E.; Blate, G.M.; Redford, K.H.; Fimbel, R. Robinson, J. 2001. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology* 15: 7–20.
- Queiroz, H. 2005. A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. *Estudos Avançados*. 19(54): 183 – 203.
- Revilla, J.D.C. 1981. *Aspectos florísticos e fitossociológicos da floresta inundável (igapó)*. Praia Grande, Rio Negro, Amazonas, Brasil. Master's Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 129 pp.
- Ribeiro, R.N.S.; Tourinho, M.M.; Santana, A.C. 2004. Avaliação da sustentabilidade agroambiental de unidades produtivas agroflorestais em Várzeas flúvio marinhas de Cametá - Pará. *Acta Amazonica*. 34(3): 359 – 374.
- Roig, F.A. 2000. Dendrocronología en los bosques del Neotrópicos: revisión y prospección futura. In: *Dendrocronología en america Latina*. Roig, F. A. (ed.). Mendoza: EDIUNC. 307 – 355.
- Sass, U.; Killmann, W.; Eckstein, D. 1995. Wood formation in two species of dipterocarpaceae in Peninsular Malaysia. *IAWA Journal*. 16: 371 – 384.

- Schöngart, J. 2003. *Dendrochronologische Untersuchungen in Überschwemmungswäldern der várzea Zentralamazoniens*. PhD Thesis, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen. 223 pp.
- Schöngart, J. 2008. Growth-Orientated Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. *Forest Ecology and Management* (Aceito).
- Schöngart, J.; Piedade, M.T.F.; Ludwigshausen, S.; Horna, V.; Worbes, M. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*. 18: 581 – 597.
- Schöngart, J.; Piedade, M.T.F.; Worbes, M. 2003. Successional differentiation in structure, floristic composition and wood increment of whitewater Floodplain Forests in Central Amazonia. *German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research*. Hamburg. 3 – 8.
- Schöngart, J.; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Ayres, J.M.; Hüttermann, A.; Worbes, M. 2004. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect. *Global Change Biology*. 10: 683 – 692.
- Schöngart, J.; Piedade, M.T.F.; Wittmann, F.; Junk, W.J.; Worbes, M. 2005. Wood growth patterns of *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) (Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water Floodplain Forests. *Oecologia*. 145: 454 – 461.
- Schöngart, J.; Orthmann, B.; Hennenberg, K.J.; Porembski, S.; Worbes, M. 2006. Climate – growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction. *Global Change Biology*. 12: 1139 – 1150.
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Worbes, M.; Piedade, M.T.F.; Krambeck, H.-J.; Junk, W.J. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white – water floodplain forests defined by tree – rings analysis. *Annals of Forest Science*. 64: 657 – 664.
- Schöngart, J.; Rocha, R.M.; Queiroz, H.L. 2008a. Traditional timber extraction in the central Amazonian floodplains. In Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Wittmann, F.; Schöngart, J. (eds.). *Central Amazonian Floodplain forests:*

- Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable management*. Springer-verlag, Berlin, Heidelberg, New York (no prelo).
- Schöngart, J.; Wittmann, F.; Worbes, M. 2008b. Biomass and net primary production of central Amazonian floodplain forests. *In Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Wittmann, F.; Schöngart, J. (eds.). Central Amazonian Floodplain forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable management*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (no prelo).
- Swaine, M.D.; Whitmore, T.C. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio*. 75: 81 – 86.
- Schwartz, M.W.; Caro, T.M.; Banda-Sakala, T. 2002. Assessing the sustainability of harvest of *Pterocarpus angolensis* in Rukwa Region, Tanzania. *Forest Ecology and Management*. 170: 259 – 269.
- Schweingruber, F.H. 1988. *Tree rings*. Reidel, Dordrecht. 276 pp.
- Sioli, H. & Klinge, H. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. *Boletim Museu Paraense Emilio Goeldi*. 1: 27 – 41.
- Sioli, H. 1984. Former and recent utilizations of Amazonia and their impact on the environment. *In The Amazon*. Sioli, H. (ed.). Junk Publishers. Dordrecht. 675 – 706.
- Sioli, H. 1991. *Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Editora Vozes. Petrópolis, Rio de Janeiro. 3 ed. 71 pp.
- Sociedade Civil Mamiurá. 1996. *Mamiurá: Management Plan* (summarized version). Brasília, SCM, CNPq/MCT.
- Sokpon, N. & Biaou, S.H. 2002. The use of diameter distributions in sustained-use management of remnant forests in Benin: case of Bassila forest reserve in North Benin. *Forest Ecology and Management*. 161: 13 – 25.
- Sombroek, W.G. 1979. Soils of the Amazon region and their ecological stability. *ISM Annual Report*. 13 – 27.
- Smeraldi, R. 2003. Legalidade predatória – o novo contexto da exploração madeireira na Amazônia. *In: MACQUEEN, D.J. (ed.). Exportando sem crises: a indústria de madeira tropical brasileira e os mercados internacionais*. IIED Small and Medium

- Enterprise Series. London, International Institute for Environment and Development. 1: 37 – 52.
- Spiecker, H. 2002. Tree rings and forest management in Europe. *Dendrochronologia*. 20(1-2): 191 – 202.
- 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. MSc thesis, INPA/UFAM, Manaus, Brazil.
- Stahle, D.W. 1999. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA Journal*. 20: 249 – 253.
- Takeuchi, M. 1962. The structure of the amazonian vegetation. VI. Igapó. *Journal of the Faculty Science University of Tokyo*, 8(4 – 7): 297-304.
- Ter Steege, H.; Pitman, N.; Sabatier, D.; Castellanos, H.; Vander Hout, P.; Daly, D.C.; Silveira, M.; Phillips, O.L.; Vasquez, R.; Van Andel, T.; Duivenvoorden, J.; De Oliveira, A.A.; Ek, R.; Lilwah, R.; Thomas, R.; Van Essen, J.; Baider, C.; Maas, P.; Mori, S.; Terborgh, J.; Nuñez, P.V.; Mogollo n, H.; Morawetz, W. 2003. A spatial model of tree adiversity and b-density for the Amazon Region. *Biodiversityand Conservation*. 12: 2255 – 2277.
- Therrell, M.D.; Stahle, D.W.; Ries, L.P.; Shugart, H.H. 2006. Tree-ring reconstructed rainfall variability in Zimbabwe. *Climate Dynamics*. 26: 677 – 685.
- Uhl, C.; Barreto, P.; Veriss mo, A.; Vidal, E.; Amaral, P.; Barros, A.C.; Souza, C.; Johns, J.; Gerwing, J. 1997. Natural Resource Management in the Brazilian Amazon. *Bioscience*. 47(3): 160 – 168.
- Vidal, E.; Viana, V.M.; Batista, J.L.F. 2002. Crescimento de floresta tropical tr s anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. *Scientia forestalis*. 61:133-143
- Waldhoff, D.; Junk, W.J.; Furch, B. 1998. Responses of three Central Amazonian tree species to drought and flooding under controlled conditions. *International Journal of Ecological and Environments Sciences*. 24: 237 – 252.
- Wittmann, F. & Parolin, P. 1999. Phenology of six tree species from Central Amazonian Várzea. *Ecotropica*. 5: 51 – 57.

- Wittmann, F.; Anhuf, D.; Junk, W.J. 2002. Tree species distribution and community structure of central Amazonian Várzea forests by remote-sensing techniques. *Journal of Tropical Ecology*. 18: 805 – 820.
- Wittmann, F. & Junk, W.J. 2003. Sapling communities in Amazonian white-water forests. *Journal of Biogeography*. 30(10): 1533 – 1544.
- 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.
- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Montero, J.C.; Motzer, T.; Junk, W.J.; Piedade, M.T.F.; Queiroz, H.L.; Worbes, M. 2006a. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*. 33: 1334 – 1347.
- Wittmann, F.; Schöngart, J.; Brito, J.M.; Oliveira Wittmann, A.; Piedade, M.T.F.; Parolin, P.; Junk, W.J.; Guillaumet, J.L. 2006b. Manual of trees from Central Amazonian várzea floodplains: Taxonomy, ecology and use. Ed. Valer (no prelo).
- Whitmore, T.C. 1990. *An introduction to tropical rain forests*. Oxford University Press, New York.
- 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. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees — a review. *IAWA Journal*. 16: 337– 351.
- Worbes, M. 1997. The forest ecosystem of the floodplains. *In: The central Amazon Floodplain. Ecology of a Pulsing system*. Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 223 – 266.
- Worbes, M. 1999. Annual grow rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*. 87: 391 – 403.
- Worbes, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*. 20(1 – 2): 217 – 231.

- Worbes, M. & Junk, W.J. 1999. :How old are the trees? The persistence of a myth. *IAWA Journal*. 20(3): 255 – 260.
- Worbes, M.; Kingle, H.; Revilla, J.D.; Martius, C. 1992. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of Várzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation Science*. 3: 553 – 569.
- Worbes, M.; Piedade M.T.F.; Schöngart, J. 2001. Holzwirtschaft im Mamirauá-Projekt zur nachhaltigen Entwicklung einer Region im Überschwemmungsbereich des Amazonas. *Forstarchiv*. 72: 188 – 200.
- Worbes, M.; Staschel, R.; Roloff, A.; Junk, W.J. 2003. The ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management*. 173: 105–123.