

# Capítulo 5

---

## Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição do padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil

### *The use of metal bands and automated dendrometers to define the individual growth patterns of the principal tree species in the Manaus region, Amazonas, Brazil*

Niro Higuchi<sup>(1)</sup>, Jeffrey Q. Chambers<sup>(2)</sup>, Roseana Pereira da Silva<sup>(3)</sup>, Érika Vieira de Miranda<sup>(4)</sup>, Joaquim dos Santos<sup>(1)</sup>, Shiguelo Iida<sup>(5)</sup>, Alberto Carlos Martins Pinto<sup>(6)</sup>, Rosana de Miranda Rocha<sup>(3)</sup> e Cacilda Adélia Sampaio de Souza<sup>(7)</sup>

**RESUMO:** Analisou-se o padrão de crescimento individual de diversas árvores que ocorrem em duas toposseqüências (direções Norte-Sul e Leste-Oeste), de uma amostra representativa da floresta de terra-firme na Amazônia Central. Para este estudo duas aproximações diferentes foram usadas: bandas metálicas para padrões mensais de um conjunto de indivíduos arbóreos e dendrômetros automáticos para padrões horários de três espécies arbóreas selecionadas. Para o monitoramento sobre bandas metálicas foram selecionados, de forma aleatória, aproximadamente, 150 indivíduos em cada toposseqüência, distribuídos nas mesmas proporções em três classes topográficas (platô, encosta e baixio) e em três classes de diâmetro.

<sup>1</sup>/Pesquisador CPST-INPA

<sup>2</sup>/Pesquisador U. da Califórnia Irvine

<sup>3</sup>/Bolsista CNPq-DCR

<sup>4</sup>/Engenheira Florestal IBAMA-AM

<sup>5</sup>/Pesquisador FFPRI

<sup>6</sup>/Bolsista PCI-INPA

<sup>7</sup>/Bolsista PIBIC-CNPq-INPA

As medições foram realizadas mensalmente ao longo de 36 meses, de outubro/1999 a setembro/2002. Para os dendrômetros automáticos, foram utilizadas três espécies (*Scleronema micranthum* Ducke, *Eschweilera coriacea* (DC) Mart. ex Berg. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) repetidas três vezes. O desenvolvimento radial foi registrado a cada hora durante 12 meses, de junho/2001 a maio/2002. O padrão individual de incremento mensal em diâmetro variou significativamente ( $p < 0.01$ ) entre as estações do ano e nas interações mês (M) x transectos (TRA) ( $p = 0,02$ ) e M x classes de diâmetro (CD) ( $p < 0.01$ ), mas apresentou sinais fracos quando os meses são interagidos com as classes topográficas (CT) ( $p = 0,83$ ). O mesmo ocorreu com as interações M x TRA x CT ( $p = 0,16$ ), M x TRA x CD ( $p = 0,49$ ), M x CT x CD ( $p = 0,40$ ) e na interação M x TRA x CT ( $p = 0,16$ ). A média do incremento anual em diâmetro, considerando todas as 300 árvores monitoradas, foi de  $1,77 \pm 0,27$  mm (IC 95%), ficando dentro do intervalo dos incrementos obtidos no BIONTE e FLONA Tapajós, que é de 1,5 a 2 mm por ano. Os padrões de crescimento individual das três espécies monitoradas pelos dendrômetros automáticos confirmaram os padrões mensais obtidos usando bandas metálicas ( $P < 0.001$ ); entretanto, a introdução da variável hora nas interações com o mês, espécie e tipo de crescimento não apresentou diferenças significativas.

**Palavras-chave:** floresta amazônica, incremento, manejo florestal.

**SUMMARY:** This study deals with the analysis of individual growth patterns for tree species distributed over two transects (East-West and North-South) measuring 20 by 2500 m. Two different approaches were used: (1) In each tree a metal "dendrometer" band was fixed to the trunk, and growth in circumference was measured with a digital caliper, and (2) automated dendrometers composed of four sensors and data logger were used to monitor the radial development of three different species (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd., *Scleronema micranthum* Ducke and *Eschweilera coriacea* (DC) Mart. Ex Berg). In approach (1), measurements were carried out for 36 months, from October/1999 to September/2002. In approach (2), the monitoring was done hourly during 12 months (June/2001 to May/2002). Based on approach (1), individual growth patterns varied significantly over time ( $p < 0.01$ ), and when the following interactions were included: months and transects ( $p = 0.02$ ) and months and diameter classes ( $p = 0.002$ ). On the other hand, the signal was very weak ( $p = 0.83$ ) when the interaction months and topographical classes were considered. Mean annual increment in diameter considering all 300 monitored trees was  $1,77 \pm 0,27$  mm yr<sup>-1</sup> (CI 95%), falling within the interval estimated for BIONTE and Tapajós National Forest which are 1,5 and 2 mm per year, respectively. Approach (2) confirmed ( $p < 0.001$ ) the monthly growth patterns obtained by the metallic bands when growth over time (monthly) and the interaction months and species were considered; however, when the variable hour was included in the interactions with months, species and growth types, the results were not statistically significant.

**Key-words:** Amazon forest, increment, forest management.

## INTRODUÇÃO

Além de executar uma exploração seletiva planejada, entender a dinâmica e os mecanismos envolvidos no crescimento e desenvolvimento de espécies arbóreas é essencial para conciliar produção e conservação dos recursos florestais da Amazônia. No caso específico de manejo florestal, esse entendimento é fundamental em importantes tomadas de decisão, como (i) escolha das espécies que podem ser exploradas; (ii) escolha das espécies que devem ser protegidas; (iii) projeção mais precisa do ciclo de corte e (iv) prescrição de tratamentos silviculturais.

A conciliação da produção e conservação dessa floresta significa o equilíbrio dos

vários fatores e funções que garantem o funcionamento de seu conjunto de ecossistemas, fornecendo benefícios importantes na forma de serviços ambientais que são freqüentemente necessários para a sustentabilidade econômica. Entre as principais funções ecológicas da floresta amazônica, Schubart (1990) e Panayotou & Ashton (1992) destacaram: (i) preservação dos recursos genéticos e fitoquímicos e de interações ecológicas co-evoluídas entre plantas e animais, garantindo a continuidade do processo de evolução sobre a Terra; (ii) interação entre a floresta e a química da atmosfera (com possíveis efeitos globais); (iii) interação entre a floresta e o balanço energético da atmosfera (com possíveis efeitos globais); (iv) regulação do ciclo hidrológico local e regional garantindo melhor distribuição de chuvas e maior estabilidade no regime dos rios e (v) proteção dos solos contra a erosão, evitando o assoreamento de rios e perdas de nutrientes minerais.

Para Hallé *et al.* (1978), a árvore tem que ser considerada como um indivíduo geneticamente diverso, em processo de desenvolvimento e mudanças, que responde, de várias maneiras, às flutuações do clima e microclima, à incidência de insetos, fungos e outros parasitas, particularmente às mudanças ao redor dela mesma. A árvore é então vista como uma unidade ativa e adaptável e, a floresta, é feita de um vasto número de tais unidades interagindo entre si e com os fatores do solo e do clima.

A função de uma árvore em sua eco-unidade florestal (unidade de regeneração) tem que ser considerada de duas maneiras: a árvore participa na construção da eco-unidade e contribui com a sobrevivência da mesma (Oldeman & Van Dijk, 1991). Em outras palavras, a árvore reage a todos os inputs bióticos e abióticos vindo de seu biótipo imediato. O ambiente da árvore não consiste apenas dos fatores abióticos determinados pelos fatores climáticos e de solos (Oldeman & Van Dijk, 1991). Esses fatores são filtrados pela vegetação circundante composta de um mosaico de fragmentos (manchas) de floresta jovem, em construção, madura e em decomposição. E, dentro de uma particular mancha, os nutrientes e a energia que entram, são filtrados novamente por vários organismos, antes de alcançar a árvore sob consideração.

A maioria dos estudos publicados sobre crescimento e rendimento de florestas tropicais enfatiza apenas a escala de ecossistema ou de povoamento florestal, sem levar em consideração o padrão de crescimento individual das árvores. Na literatura florestal, os índices de produtividade (incremento periódico anual em volume de madeira) de florestas manejadas em diferentes sítios florestais da Ásia e África variam de 2 a 4 m<sup>3</sup>/ha/ano, de acordo com Wadsworth (1987) e Leslie (1987). Na Amazônia brasileira, nos sítios de Santarém (FLONA Tapajós) e Manaus (ZF-2, conhecido como BIONTE), o incremento periódico anual em volume, dez anos após a exploração florestal, pode ser estimado em 5 m<sup>3</sup>/ha/ano (Silva *et al.*, 1996 e Higuchi *et al.*, 1985). Esses índices, geralmente, são baseados em medições contínuas em parcelas permanentes.

Na Amazônia, há poucos estudos de correlação entre padrões de crescimento individual e fatores climáticos; os pioneiros são os de Silva *et al.*, (2002) e Miranda (2002), na região de Manaus. As raras informações existentes sobre padrões de crescimento individual de espécies arbóreas de outras regiões tropicais, são usadas apenas para comparações com aquelas manejadas (Manokaran & Kochummen, 1993; Milton *et al.*, 1994; Herwitz & Young, 1994; Condit *et al.*, 1995; Silva *et al.*, 1996; Poels *et al.*, 1998 e Finegan *et al.*, 1999).

Além dos índices de produtividade do povoamento florestal e do entendimento dos processos ecofisiológicos que explicam o funcionamento (resposta à intervenção) do ecossistema manejado, o manejo florestal sustentável requer informações sobre o padrão de crescimento individual das espécies. As medidas de crescimento diamétrico têm sido freqüentemente usadas nos estudos que examinam a resposta de crescimento natural das árvores ou mudanças antropogênicas do ambiente (Lea *et al.*, 1979; Day, 1985; Conner & Day, 1992).

O desenvolvimento radial ou diamétrico varia significativamente entre e dentro das espécies arbóreas e de acordo com a idade, estações do ano e condições microclimáticas. Muitas espécies de florestas tropicais, geralmente, apresentam comportamentos bastante diferenciados, estando sempre associada às respostas individuais de cada espécie, cada família, ou até mesmo cada indivíduo observado. Nas análises existentes sobre a relação entre a umidade do solo e o crescimento, considera-se que este último não é um fator diretamente controlado pela umidade do solo, mas pelo equilíbrio hídrico da planta, que por sua vez, é regulado pelas intensidades relativas de absorção e de transpiração; sendo, por esta razão, afetado tanto pelas condições de umidade do solo como pelas atmosféricas (Ferri, 1979).

As informações sobre crescimento individual poderiam ser facilmente tiradas das parcelas permanentes, tendo em vista que a principal variável para este tipo de trabalho, "o diâmetro" (normalmente à altura do peito, DAP), é a única variável comum em todas as parcelas de todos os sítios de pesquisa. Entretanto, essas informações permanecem nos bancos de dados das instituições responsáveis pelas parcelas permanentes. O ideal é a combinação do uso de parcelas permanentes e bandas dendrométricas.

Segundo Keeland & Sharitz (1993), o uso de bandas (ou fitas) dendrométricas permanentes para monitorar o crescimento em diâmetro foi introduzido por Hall (1944), em floresta temperada, tendo desde o início, um uso satisfatório e convincente em medições repetidas. Desde então, essas fitas têm sido amplamente utilizadas em florestas temperadas, mas não se repete em florestas tropicais. Na Amazônia brasileira, por exemplo, há registros de utilização dessas fitas apenas em Santarém e em Manaus, com apenas um trabalho publicado (Silva *et al.*, 2002).

As vantagens observadas na utilização de fitas dendrométricas são: (i) facilidade na instalação e leitura; (ii) custo baixo e (iii) não acarretam danos no caule e no câmbio (Keeland & Sharitz, 1993). Por outro lado, a principal desvantagem observada por Bower & Blocker (1966) e confirmada por Cameron & Lea (1980), é o fato que no primeiro ano de observações, as medições em bandas tendem a subestimar o crescimento em diâmetro. Entretanto, Day (1985), apud Keeland & Sharitz (1993) concluiu que, em regiões onde as estações do ano são bem definidas, a subestimação das medidas do diâmetro pode ser atribuída à falta aparente de crescimento, que provoca o relaxamento dos encaixes (molas) de instalação das bandas.

Há também dendrômetros automáticos de alta precisão que estão sendo utilizados em florestas temperadas, principalmente quando o objetivo é analisar o relacionamento entre a fenologia e o crescimento individual da árvore. Tabuchi & Takahashi (1998) relataram sobre a experiência com esse tipo de dendrômetro, tipo Hi-Fi, instalado em espécies caducifólias no Norte do Japão, Hokkaido; as medidas de mudanças na circunferência do tronco foram tomadas de hora em hora, durante a estação de crescimento das plantas. Essa primeira experiência com esse tipo de equipamento, durante o período de abril-agosto, foi considerada promissora pelos autores, porque permite descrever o padrão de crescimento individual, detalhadamente e com muita precisão e relacioná-lo com dados de disponibilidade de água e outras variáveis climatológicas.

O objetivo deste trabalho é relatar a nossa experiência com dinâmica de uma floresta não perturbada da região de Manaus (AM), em três diferentes escalas: ecossistema, indivíduo (árvore) e espécie arbórea. No nível de indivíduo, usou-se bandas dendrométricas medidas mensalmente com paquímetro digital e no de espécie, foram usados dendrômetros automáticos com medições horárias. Em última instância, quer-se passar para o setor produtivo a idéia da necessidade de ter a definição de padrão de desenvolvimento individual de espécies selecionadas para auxiliar no manejo florestal. A escala de ecossistema será apresentada como um capítulo independente, neste mesmo livro de resultados.

## METODOLOGIA

### Caracterização da Área de Estudo

As bandas dendrométricas (figura 1) foram instaladas em junho de 1999 e, os dendrômetros automáticos, em junho de 2001. As duas pesquisas foram implementadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA (Núcleo ZF2), localizada a 90 km ao noroeste de Manaus, mais precisamente nos transectos norte-sul e leste-oeste do componente “Manejo Florestal” do Projeto Jacaranda (Convênio MCT-INPA e JICA). Nesses transectos já foram executados estudos sobre a vegetação (Higuchi *et al.*, 1998) e solos (Ferraz *et al.*, 1998), ambos considerando separadamente os estratos platô, encosta e baixio.

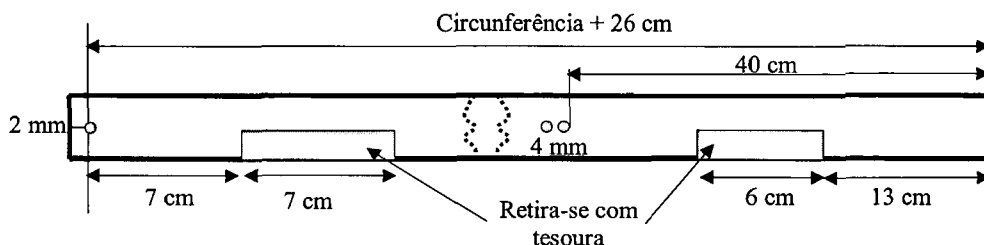


Figura 1 - Esquema para fabricação das bandas dendrométricas.

Os primeiros resultados sobre padrão de crescimento já foram publicados por Silva *et al.* (2002) usando bandas e por Miranda (2002) usando dendrômetros automáticos. Nesses dois trabalhos são apresentadas as principais características da área estudada. Segundo Silva (2001), o intervalo de confiança para a precipitação média anual foi  $2.610 \pm 124\text{ mm}$  ( $p = 0,05$ ), com base na série histórica 1980-2000 do CPAA-EMBRAPA e na área de estudo, a precipitação do ano 2000 foi de  $3.491\text{ mm}$ , caindo fora do intervalo de confiança da série histórica.

### Coleta de Dados

Para o estudo com bandas, aproximadamente 300 árvores foram escolhidas aleatoriamente de um banco de dados do trabalho de Higuchi *et al.* (1998), sendo 150 árvores em cada transecto. Essas árvores foram agrupadas nas seguintes classes diamétricas:  $10 \leq DAP < 30$ ;  $30 \leq DAP < 50$  e  $DAP \geq 50\text{ cm}$  e distribuídas em mesmas proporções ao longo de cada transecto ( $20 \times 2500\text{ m}$ ), considerando ainda, os estratos platô, encosta e baixio. Para a instalação dos dendrômetros automáticos foram escolhidas três espécies, repetidas três vezes cada, do banco de dados de Silva (2001). As repetições foram estabelecidas de acordo com o tipo de crescimento (lento, intermediário e rápido) ocorrido em 2000 (Silva, 2001). As espécies escolhidas foram: *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild, *Scleronema micranthum* Ducke e *Eschweilera coriacea* (DC) Mart. ex Berg.

A banda dendrométrica (figura 1) foi confeccionada de forma manual, com base na medida do diâmetro à altura do peito (DAP) de cada indivíduo arbóreo. A expansão do crescimento do tronco é medida por meio do deslocamento provocado por uma mola à medida que ocorre o crescimento. As medidas das variações de crescimento foram obtidas utilizando um paquímetro digital, com precisão de centésimos de milímetro. As aberturas são sobrepostas em torno do fuste, tendo as extremidades da banda interligadas por uma mola que promove o deslocamento e o conseqüente movimento na posição das aberturas, fornecendo a variação das

medidas que foram tomadas mensalmente.

Para a avaliação do desenvolvimento radial horário foram utilizados dendrômetros automáticos. Cada conjunto de dendrômetro é composto de quatro sensores (potenciômetros adaptados) e um datalogger. Foram instalados quatro sensores em cada árvore (repetição), em diferentes alturas e nos sentidos norte, sul, leste e oeste. A contração ou dilatação do tronco é medida em minutos e registrada de hora em hora no datalogger. A figura 2 apresenta um conjunto de fotos ilustrando a banda dendrométrica e o dendrômetro automático.



Figura 2 - Fotos mostrando a banda dendrométrica e a medição com o paquímetro digital e um dos sensores do dendrômetro automático e o coletor de dados.

### Análise estatística

O padrão de crescimento individual em diâmetro e o padrão de desenvolvimento radial foram analisados graficamente. Os intervalos de confiança (IC 95%) foram estimados para o incremento médio mensal tanto para o banco de dados das bandas como o dos dendrômetros automáticos. Dois diferentes testes estatísticos foram aplicados a fim de testar as hipóteses levantadas: (a) testes de correlação e (b) análise de variância para parcelas repetidas.

**(a) Correlações:**

Foram testadas as seguintes hipóteses nulas, de acordo com as metodologias de Freund & Walpole (1987):

- O incremento corrente mensal (ICM) é correlacionado com a precipitação.
- O incremento médio diário é correlacionado com a umidade relativa do ar.
- O incremento médio diário é correlacionado com a temperatura do ar.
- O incremento médio diário é correlacionado com o déficit de saturação de vapor do ar.
- O incremento médio diário é correlacionado com a radiação.

**(b) Anova para medições repetidas:** Este teste foi levado a cabo de acordo com a metodologia de von Ende (1993).

**b.1. Comparação de médias combinadas, classes topográficas (CT) e tempo (T) - bandas dendrométricas:**

Hipótese: Foi testada considerando dois transectos (norte-sul e leste-oeste), três condições topográficas (platô, encosta e baixo), três classes de diâmetro ( $10 \leq \text{DAP} < 30$ ;  $30 \leq \text{DAP} < 50$  e  $\text{DAP} \geq 50$  cm) e 12 incrementos mensais (médias mensais dos 36 meses monitorados) em diâmetro.

H<sub>0</sub>: O padrão de incremento individual não depende dos transectos (TRA), das classes topográficas (CT), das classes de diâmetro (CD) e do tempo (T).

H<sub>1</sub>: O padrão de crescimento individual depende dos transectos (TRA), das classes topográficas (CT), das classes de diâmetro (CD) e do tempo (T).

O modelo linear aditivo para este teste foi o seguinte:

$$X_{ijkl} = \mu + \upsilon_i + \psi_{k(i)} + \tau_j + \upsilon\tau_{ij} + \tau\psi_{jk(i)} + \upsilon\psi\tau_{jk} + \upsilon\psi\tau\omega_{ijkl} + \varepsilon_{m(ijkl)}$$

Onde:

$\upsilon_i$  = efeito das CTs no incremento

$\psi_{k(i)}$  = efeito da árvore medida dentro da respectiva CT

$\tau_j$  = efeito do tempo (T)

$\upsilon\tau_{ij}$  = interação CT x T

$\tau\psi_{jk(i)}$  = interação árvore x CT

$\upsilon\psi\tau_{ijk}$  = interação árvore x CT x T

$\upsilon\psi\tau\omega_{ijkl}$  = interação árvore x CT x CD x T

$\varepsilon_{m(ijkl)}$  = erro

Os valores de F foram substituídos por G-G e H-F, que são probabilidades ajustadas por Greenhouse-Geisser e Huynh-Feldt, respectivamente.

## **b.2. Comparação de médias combinadas, horas do dia, meses e espécies - dendrômetros automáticos:**

O mesmo modelo linear aditivo das bandas foi empregado para a análise de variância de medições repetidas alterando apenas as interações.

Para o teste de hipótese foram considerados três espécies, três tipos de crescimento (lento, intermediário e rápido) e 12 incrementos horários do desenvolvimento em diâmetro. O objetivo foi verificar se o crescimento horário é influenciado pelas espécies e pelo tipo de crescimento, com o passar do tempo.

$H_0$ : O padrão de crescimento individual não depende das espécies e do tipo de crescimento, com o passar do tempo.

$H_1$ : O padrão de crescimento individual depende das espécies e do tipo de crescimento, com o passar do tempo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Incremento médio anual em diâmetro**

A média do incremento anual em diâmetro, considerando todas as 300 árvores, monitoradas com as bandas dendrométricas durante 36 meses, foi de  $1,77 \pm 0,27$  mm (IC 95%). Usando os dendrômetros automáticos nas três espécies selecionadas durante 12 meses, o incremento anual foi de  $5,13 \pm 2,47$  mm (IC 95%). No banco de dados das bandas estão incluídas espécies de sub-bosque, de dossel e emergentes, enquanto que as três espécies monitoradas com os dendrômetros são de dossel e emergentes.

O incremento obtido com as bandas é mais representativo da floresta mista amazônica. As estimativas obtidas com as bandas estão dentro do intervalo dos incrementos obtidos no BIONTE (Higuchi *et al.*, 1997), FLONA Tapajós (Silva *et al.*, 1996) e da mesma área, obtido no ano de 2000 (Silva *et al.*, 2002), que é de 1,5 a 2 mm por ano.

Em dois sítios diferentes na Malásia Peninsular, monitorados desde 1947, segundo Manokaran & Kochummen (1993), as estimativas de incrementos médios anuais em diâmetros, em 1985, foram as seguintes: de 0,4 a 1,6 mm para as espécies de sub-bosque; 0,5 a 3,5 mm para as principais espécies do dossel; 2,7 a 4,5 mm para as espécies emergentes; de 1,5 a 4,5 mm para as espécies pioneiras. Comparando com as estimativas do presente estudo, verifica-se que: (i) a estimativa obtida usando as bandas está dentro do intervalo para as espécies emergentes e (ii) a estimativa da média obtida com os dendrômetros automáticos (IPA = 5,13 mm) está fora do intervalo para as espécies emergentes e de dossel, mas a estimativa mínima provável ( $5,13 \pm 2,47 = 2,66$  mm) está dentro do intervalo para os dois tipos de espécies da Malásia.

### **Correlações:**

#### **a) Bandas dendrométricas: Incremento Médio Mensal (IMM) e precipitação:**

A precipitação mensal foi considerada como variável dependente e o incremento médio mensal (IMM) como variável independente. A precipitação mensal, coletada durante 36 meses, foi obtida usando pluviômetro manual instalado na área da presente pesquisa. O IMM, neste caso, é a média do incremento mensal de todos os indivíduos, independentemente das classes topográficas e de diâmetro. O coeficiente de correlação Pearson ( $r$ ) foi de 0,55, positivo e significativo ( $p = 0,001$ ), ficando acima daquele obtido por Silva (2001), que correlacionou



precipitação mensal do ano 2000 com o IMM e obteve  $r = 0,40$ .

Além do coeficiente de correlação ser significativo, o sinal (+) indica que há uma tendência dos maiores valores de IMM estarem associados com as maiores precipitações. O gráfico contendo a relação entre precipitação e IMM (figura 3) mostra que esta tendência não é impecável. Quando o IMM foi correlacionado com a precipitação mensal da série histórica de 1980-2000 (figura 4), o coeficiente de correlação foi positivo ( $r = 0,93$ ) e altamente significativo ( $p < 0,001$ ). Essas diferenças em sinais podem indicar que a "quantidade" de chuva pode não ser o fator mais importante para definir o padrão de incremento individual, e sim como a mesma é distribuída ao longo do mês ou da estação do ano.



Figura 3 - Padrão de incremento médio mensal em diâmetro em relação a precipitação coletada no mesmo sítio de pesquisa.

#### b) Dendrômetros automáticos: incremento radial horário (IRH) versus umidade relativa do ar (UR), temperatura do ar, déficit de saturação de vapor do ar (Dsv) e radiação.

De um modo geral, são positivas as correlações entre IRH e UR e negativas entre IRH e temperatura, Dsv e radiação. Esses resultados estão de acordo com outros obtidos em outros sítios (Fritts & Fritts, 1955, Egler, 1956, Fraser, 1962 e Breitsprecher e Bethel, 1990). Entretanto, um indivíduo de *Eschweilera coriacea* (DC) Mart. ex Berg. - matámatá, apresentou um comportamento inverso, com correlação negativa quando todos os outros apresentam correlações positivas, e positiva quando todos os outros apresentam correlações negativas.

#### Incremento médio mensal (IMM) em DAP (cm) em função dos transectos, classes topográficas (CT) e classes de diâmetro (CD), com o passar do tempo.

##### a) Bandas dendrométricas

Os resultados da análise de variância (ANOVA) executada para verificar se as variações do

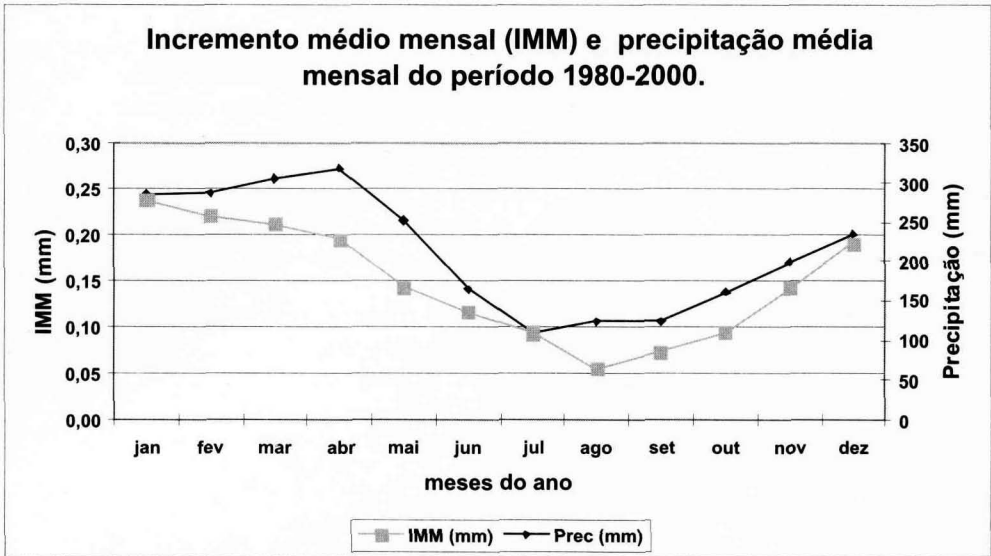


Figura 4 - Padrão de incremento mensal em relação à precipitação média do período 1980-2000.

incremento são devidas às orientações dos transectos, às classes topográficas e às classes de diâmetro, com o passar do tempo, são apresentados na tabela 1. Essa análise foi executada de acordo com von Ende (1993), tendo o tempo (12 incrementos como média mensal dos 36 meses monitorados) como parcelas subdivididas e considerando apenas a circularidade das matrizes como restrição à validade da ANOVA de parcelas repetidas.

Segundo ainda von Ende (1993), o valor de F deve ser corrigido usando os fatores de Greenhouse-Geisser (G-G) ou Huynh-Feldt (H-F) para inferir sobre cada fonte de variação, quando medidas repetidas são tomadas nos mesmos indivíduos ou unidades experimentais. Se o valor de G-G é menor do que H-F, o G-G tende a ser mais conservador do que H-F; por essa razão, é mais seguro fazer inferências com base em G-G (0,4037) descrito na tabela 1 que contém a análise de variância de medições repetidas dentro das classes em parcelas subdivididas de acordo com o tempo.

De acordo com a tabela 1, a fonte de variação “mês” influencia significativamente ( $p < 0,001$ ) o incremento médio mensal (IMM); da mesma forma, as interações mês \* transectos (TRA) e mês \* classes de diâmetro (CD) apresentam fortes sinais de significância, respectivamente  $p = 0,024$  e  $p = 0,002$ . No entanto, os sinais são fracos para afirmar que os IMMs são influenciados pelas interações mês \* classes topográficas (CT) ( $p = 0,83$ ), mês \* TRA \* CT ( $p = 0,156$ ), mês \* TRA \* CD ( $p = 0,489$ ), mês \* CT \* CD ( $p = 0,395$ ) e mês \* TRA \* CT \* CD ( $p = 0,155$ ).

## b) Dendrômetros automáticos

A tabela 2 apresenta a ANOVA para medições repetidas dentro das classes em parcelas subdivididas de acordo com o mês. Neste caso, as fontes de variação “mês” e a interação mês\*espécie (ESP) apresentam sinais fortes ( $p < 0,001$ ) que influenciam significativamente o incremento radial; da mesma forma, as interações mês\*tipo de crescimento (TC) e mês\*ESP\*TC são significantes, ambas com  $p = 0,014$ . Quando foi introduzido o fator “hora”

Tabela 1 - Análise de Variância para medições repetidas dentro das classes em parcelas subdivididas de acordo com o tempo-bandas dendrométricas.

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	p	G-G	H-F
Mês	11	3,847	0,350	24,840	0,000	0,000	0,000
Mês*TRA	11	0,425	0,039	2,746	0,002	0,024	0,011
Mês*CT	22	0,172	0,008	0,557	0,950	0,830	0,886
Mês*CD	22	0,952	0,043	3,073	0,000	0,002	0,000
Mês*TRA*CT	22	0,460	0,021	1,484	0,072	0,156	0,122
Mês*TRA*CD	22	0,292	0,013	0,941	0,540	0,489	0,509
Mês*CT*CD	44	0,656	0,015	1,059	0,373	0,395	0,389
Mês*TRA*CT*CD	44	0,841	0,019	1,358	0,066	0,155	0,118
Erro	594	8,364	0,014				
Greenhouse-Geisser Epsilon:		0,4037					
Huynh-Feldt Epsilon:		0,5828					

Tabela 2 - Análise de Variância para medições repetidas dentro das classes em parcelas subdivididas de acordo com o tempo-dendrômetros automáticos.

Fontes de variação	GL	SQ	MQ	F	G-G
Mês	11	2,294	0,209	0,000	0,000
Mês*ESP	22	3,541	0,161	0,000	0,000
Mês*TC	22	0,957	0,044	0,000	0,014
Mês*H	11	0,005	0,000	1,000	0,945
Mês*ESP*TC	44	1,510	0,034	0,000	0,014
Mês*ESP*H	22	0,004	0,000	1,000	0,998
Mês*TC*H	22	0,005	0,000	1,000	0,998
Mês*ESP*TC*H	44	0,009	0,000	1,000	1,000
Erro	198	2,200	0,011		
Greenhouse-Geisser Epsilon:		0,1568			
Huynh-Feldt Epsilon:		0,3356			

na análise, as interações mês\*hora (H), mês\*ESP\*H, mês\*TC\*H e mês\*ESP\*TC\*H não apresentaram nenhum sinal de significância.

**Padrão de incremento de espécies arbóreas:**

**a) Mensal:**

O padrão de incremento individual definido pelo monitoramento com as bandas dendrométricas é apresentado na figura 3. Nessa figura é apresentado o incremento médio mensal durante os 36 meses monitorados, juntamente com a precipitação mensal. Nos 3 anos, os picos de incremento ocorrem entre dezembro e abril, coincidindo com os picos de precipitação; da mesma forma, os menores incrementos ocorrem entre junho e outubro quando ocorrerem as menores precipitações. Essa relação positiva é confirmada pelo coeficiente de correlação entre incremento médio mensal e precipitação ( $r=0,55$ ,  $p=0,001$ ).

Quando a média mensal dos incrementos, dos 36 meses, foi confrontada com a

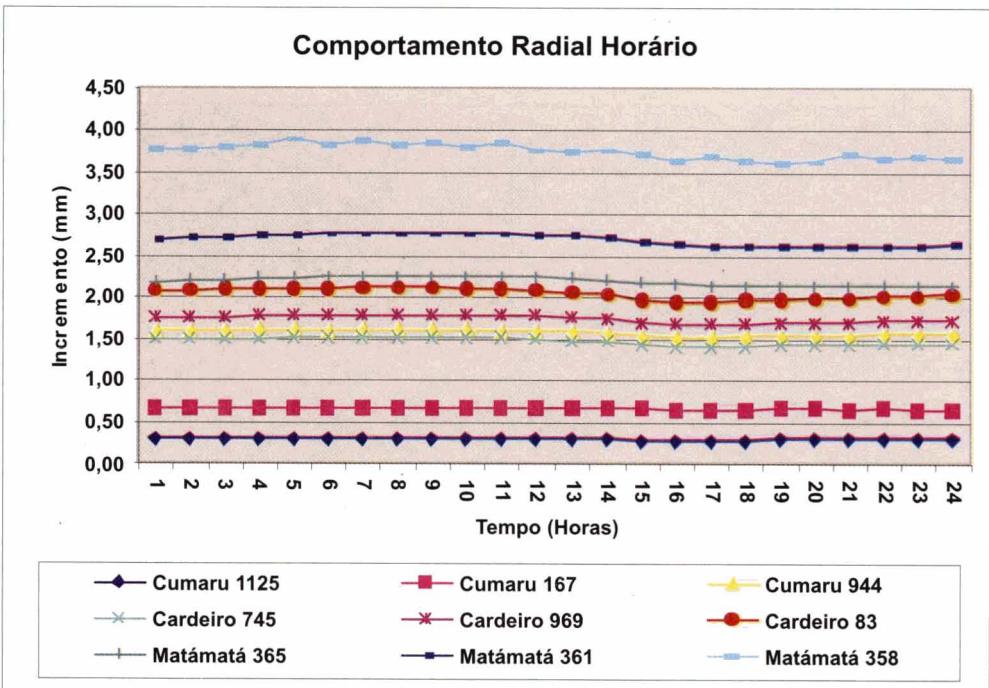
precipitação mensal de uma série histórica de 20 anos (1980-2000), figura 4, o padrão fica mais nítido, confirmando a tendência da figura 3. Essa relação é confirmada também no alto e significativo coeficiente ( $r=0,93, p<0,0001$ ).

## b) Horário:

Os padrões de incrementos radiais horários dos nove indivíduos de três espécies diferentes (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild - cumaru, *Scleronema micranthum* Ducke - cardeiro e *Eschweilera coriacea* (DC) Mart. ex Berg. - matámatá) são apresentados na figura 5, que foram monitorados durante 365 dias. Os maiores incrementos ocorrem entre 6 e 14:00 h.

Segundo Miranda (2002), o padrão de incremento mensal obtido com os dendrômetros confirma o padrão obtido com as bandas dendrométricas. A variação mensal do incremento horário é altamente significativa ( $p < 0,001$ ), porém a variação horária é não significativa.

Figura 5 - Padrão de desenvolvimento radial horário.



## CONCLUSÃO

A média do incremento anual em diâmetro, considerando todas as 300 árvores, monitoradas com as bandas dendrométricas durante 36 meses, foi de  $1,77 \pm 0,27$  mm (IC 95%). Usando os dendrômetros automáticos nas três espécies selecionadas (apenas espécies de dossel e emergentes) durante 12 meses, o incremento anual foi de  $5,13 \pm 2,47$  mm (IC 95%). O

incremento obtido com as bandas é mais representativo da floresta mista amazônica porque no banco de dados estão incluídas as espécies de sub-bosque, de dossel e emergentes. O padrão de incremento mensal dos indivíduos arbóreos monitorados durante 36 meses é bem definido, de acordo com o padrão de distribuição de chuvas; os picos de incremento ocorrem entre dezembro e abril coincidindo com os picos de precipitação; da mesma forma, os menores incrementos ocorrem entre junho e outubro quando ocorrem as menores precipitações. Essa relação positiva é confirmada pelo coeficiente de correlação entre incremento médio mensal e precipitação ( $r = 0,55$ ,  $p = 0,001$ ). Quando a média mensal dos incrementos foi confrontada com a precipitação mensal de uma série histórica de 20 anos (1980-2000), o padrão fica mais nítido, que é confirmado também pelo alto e significativo coeficiente de correlação ( $r = 0,93$ ,  $p < 0,001$ ).

O padrão de incremento mensal obtido com os dendrômetros confirma o padrão obtido com as bandas dendrométricas, sendo que a variação mensal do incremento horário é altamente significativa ( $p < 0,001$ ). No entanto, o fator "hora" apresentou sinais fracos ( $p = 0,998$ ) na definição do padrão de desenvolvimento radial horário das três espécies estudadas. Os maiores incrementos horários ocorrem entre 6 e 14:00 h.

A utilização de bandas dendrométricas e dos dendrômetros automáticos, para monitorar o crescimento da árvore e do povoamento florestal, é prática e eficiente. Em modelagem e simulação da dinâmica da floresta, manejada ou não, quando informações básicas mais precisas são necessárias para alimentar os modelos estatísticos, as medições com bandas e com os dendrômetros tornam-se mais importantes ainda. A confiabilidade das medições depende de considerações sobre a forma do caule, a fenologia da espécie e a ocorrência de infestações no fuste, tais como cipós, cupins e/ou parasitas.

Para inferir sobre o padrão de crescimento individual em diâmetro de árvores da floresta amazônica, diversos outros fatores exercem influências e precisam ser considerados. Dentre esses fatores, pode-se mencionar a grande heterogeneidade de espécies e ecossistemas, as características peculiares de cada espécie e a fenologia dos grupos ecológicos associada aos fatores ambientais bióticos e abióticos e as características climatológicas de cada região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bower, D.R. & Blocker, W.W. 1966. Accuracy of bands and tape for measuring diameter increments. *J. For.* 64: 21-22.
- Breitsprecher, J.S. & Bethel, J.S. 1990. Stem periodicity of trees in a tropical wet forest of Costa Rica. *Ecology*, 71:1156-1164.
- Cameron, R.J. & Lea, R. 1980. Band dendrometers or diameter tapes? *J. For.* 78: 277-278.
- Condit, R., Hubbel, S.P. e Foster, R.B. 1995. Demography and harvest potential of latin american timber species: data from a large, permanent plot in Panama. *Journal Tropical Forest Science* 7(4): 599-622.
- Conner, W.H. & Day, J.W. Jr. 1992. Diameter growth of *Rhodium distichum* (L.) Rich. and *Nyssa aquatica* L. from 1979-1985 in four Louisiana swamp stands. *Am. Midl. Nat.* 127: 290-299.
- Day, F.P. Jr. 1985. Tree growth rates in the periodically flooded Great Dismal Swamp. *Castanea*, 50: 89-95. In: Keeland, B.D. e Sharitz R.R. 1993. Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Can. J. For Res.* Vol. 23:2454-2457.
- Eggler, W.A. 1955. Radial growth in nine species of trees in southern Louisiana. *Ecology* 36:130-136.
- Ferraz, J.; Ohta, S.; Sales, P. C. de. 1998. Distribuição dos Solos ao Longo de Dois Transectos em Floresta Primária ao Norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M. A. A.; Sampaio, P. T. B.; Santos, J. dos (Eds). *Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*. INPA. Manaus Am. 111-141 p.
- Ferri, M.G. 1979. *Fisiologia Vegetal*. Editora Pedagógica, v.2, segunda edição. São Paulo, 401p.
- Finegan, B.; Camacho M. e Zamora, N. 1999. Diameter Increment Patterns among 16 Tree Species in a Logged and

- Silviculturally Treated Costa Rican Rain Forest. *Forest Ecology and Management*, 121(3):159-176.
- Fraser, W.A. 1956. Ecological studies of forest trees at Chalk River, Ontario, Canada. *Ecological conditions and radial increment*. *Ecology*, 37:777-789.
- Freund, J.E. & Walpole, R.E. 1987. *Mathematical Statistics*. Prentice-Hall, Inc., EUA. 4ª edição. 608p.
- Fritts, H.C. & Fritts, E.C. 1955. A new dendrograph for recording radial change of a tree. *Forest Science* 1:271-276
- Hall, R. C. 1944. A vernier tree growth band. *J. For.* 42: 742-243.
- Hallé, F.; Oldeman, R.A.A. e Tomlinson, P.B.; 1978. *Tropical Trees and Forests: An Architectural Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 441 p.
- Herwitz, S.R. & Young, S.S. 1994. Mortality, Recruitment, and Growth Rates of Montane Tropical Rain Forest Canopy Trees on Mount Bellenden-Ker, Northeast Queensland, Australia. *Biotropica*, 26(4):350-361.
- Higuchi, N.; Jardim, F.C. da S.; Santos, J. dos; Barbosa, A. 1985. Bacia 3 - Inventário Florestal Comercial. *Acta Amazonica* 15(3-4):327-369.
- Higuchi, N.; Santos J. dos; Ribeiro, R.J.; Freitas, J.V.; Vieira, G.; Cöic, A. & Minette, L.J. 1997. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-Firme Manejada Experimentalmente In: *Biomassa de Nutrientes Florestais*. INPA/DFID. pp. 89-132.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Vieira, G.; Ribeiro, R.J.; Sakurai, S.; Ishizuka, M.; Sakai, T.; Tanaka, N.; Saito, S. 1998. Análise Estrutural da Floresta Primária da Bacia do Rio Cuieiras, ZF-2, Manaus-AM, Brasil. In: *Pesquisas Florestais para Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia*. N. Higuchi, M.A.A. Campos, P.T.B. Sampaio e J. dos Santos (editores). pp.51-81.
- Keeland, B.D. & Sharitz, R.R. 1993. Accuracy of tree growth measurements using dendrometer bands. *Can J. For. Res.* Vol.23:2454-2457.
- Lea, R.; Tierson, W.C. e Leaf, A.L. 1979. Growth responses of northern hardwoods to fertilization. *For. Sci.* 25: 597-604.
- Leslie, A.J. 1987. The Economic Feasibility of Natural Management of Tropical Forests. In: *Natural Management of Tropical Moist Forests: Silvicultural and Management Prospects of Sustained Utilization*. Edited by F. Megen e J.R. Vincent. Yale University Press. Vincent. Pp.178-198.
- Manokaran, N. & K.M. Kochummen. 1993. Tree Growth in Primary Lowland and Hill Dipterocarp Forests. *J. of Tropical F. Science*, 6(3):332-345.
- Milton, K.; Laca, E.A. e Demment, M.W. 1994. Successional Patterns of Mortality and Growth of Large Trees in Panamanian Lowland Forest. *J. of Ecology*, 82(1):79-87.
- Miranda, E.V. 2002. Padrão de desenvolvimento radial horário do fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendrômetros automáticos. *Dissertação de mestrado, CFT-INPA*. 75p.
- Oldeman, R.A.A. & J. van Dijk. 1991. Diagnosis of the Temperament of Tropical Rain Forest Trees. In: *Rain Forest Regeneration and Management*, A. Gómez-Pompa, T.C. Whitmore e M. Hadley (eds.). UNESCO. The Parthenon Publishing Group Limited. pp.21-66.
- Panayotou, T. & P.S. Ashton. 1992. *Not by Timber Alone: Economics and Ecology for Sustaining Tropical Forests*. Island Press. Washington, D.C. 281 p.
- Poels, R.L.H.; de Graaf, N.R. e Wirjosejtono, J. 1998. Growth and Mortality of Trees after Various Experimental Silvicultural Treatments for Natural Regeneration in Suriname. *Agricultural University Wageningen, Hinkeloord Report n°25*.
- Silva, R.P. da. 2001. Padrões de Crescimento de Árvores que Ocorrem em Diferentes Toposseqüências na Região de Manaus. *Dissertação de Mestrado, INPA-CFT*, 60p.
- Silva, R.P., Santos, J. dos, Tribuzy, E.S., Chambers, J.Q., Nakamura, S. e Higuchi, N. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual trees growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166: 295-301.
- Silva, J.N.M., Carvalho, J.O.P.; Lopes, J.C.A.; Oliveira, R.P.; e Oliveira, L.C. 1996. Growth and Yield Studies in the Tapajós Region, Central Brazilian Amazon. *Comm. Forestry Review*, 75(4):3325-329.
- Schubart, H.O.R. 1990. Diversidade Biológica, Paradigma para uma Civilização Tropical. In: *Desafio Amazônico - O Futuro da Civilização dos Trópicos*, S.S. Brito (ed.). Editora UnB. pp.89-105.
- Tabuchi, R. & Takahashi, K. 1998. The Development of a New Dendrometer and its Application to Deciduous Broadleaf Tree Species in Hokkaido, Northern Japan. *Journal of Sustainable Forestry*, 6(1/2):23-34.
- von Ende, C.N. 1993. Repeated-Measures Analysis: Growth and Other Time-Dependent Measures. Em: *Design and Analysis of Ecological Experiments*, editado por S.M. Scheiner e J.Gurevitch. Chapman & Hall. pp. 113-137.
- Wadsworth, F.H. 1987. Applicability of Asian and African Silviculture Systems to Naturally Regenerated Forests of the Neotropics. In: *Natural Management of Tropical Moist Forests: Silvicultural and Management Prospects of Utilization*. Edited by F. Mergen e J.F. Vincent. Yale University Press. pp. 94-111. Weiss, N. & Hassett, M. 1982. *Introductory Statistics*. Addison-Wesley Publishing 651p.