

## Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil

Changes in carbon content and individual stock as related to growth of *Gmelina arborea* Roxb. in the Paraná Coastal region, Brazil

Edemilson Alexandre Marcene<sup>1</sup>, Ana Paula Dalla Corte<sup>2</sup>,  
Carlos Roberto Sanquetta<sup>2</sup>, Cassiano Ricardo Schneider<sup>3</sup>

### Resumo

*Gmelina arborea* Roxb. é uma espécie nativa das regiões tropicais, exótica cultivada no Brasil, e que apresenta um rápido crescimento, demonstrando um bom potencial para projetos de carbono. Dados dendrométricos de 103 parcelas em inventário florestal, 50 cubagens e 30 análises de tronco realizadas em plantações de *Gmelina arborea* Roxb., localizadas na região litorânea do Estado do Paraná, foram utilizados para desenvolver equações para avaliar as variações nos teores de carbono e para estimar a produção volumétrica e em biomassa no decorrer do crescimento das árvores. Os pesos totais dos fustes foram estimados em função dos volumes calculados e das densidades básicas obtidas através da técnica de máximo teor de umidade. As quantidades de carbono fixadas nos fustes foram estimadas em função dos pesos totais calculados para cada idade e dos teores de carbono determinados em cada idade através da técnica de combustão, tendo por base amostras tomadas em cada um dos anéis anuais de crescimento. A média encontrada para os teores de carbono foi de 40,47%. Não houve variação expressiva no teor de carbono entre as diferentes idades das árvores, mas as diferenças entre árvores se mostraram estatisticamente significativas. As árvores acumularam biomassa seca e carbono de modo bastante diferenciado, em função das variações de posição sociológica e sítio. Na idade de 10 anos o acúmulo de biomassa seca variou de 60 a 210 kg/árvore, com média de, aproximadamente, 120 kg. A quantidade de carbono no fuste variou entre árvores de cerca de 30 até 85 kg, com média de, aproximadamente 50 kg. Em função destes valores, concluiu-se que o incremento médio em carbono é de cerca de 5 kg/ano por árvore, considerando apenas o fuste.

**Palavras-Chave:** *Gmelina arborea*, Biomassa, ANATRO, Fixação de carbono, Densidade

### Abstract

*Gmelina arborea* Roxb. is an indigenous species of the tropics planted in Brazil that shows fast growth and, hence, is a potential tree for carbon sequestration projects. Measurement data coming from 103 forest inventory plots, 50 felled trees and 30 tree ring analyses carried out in *Gmelina arborea* plantations located in the coastal region of Paraná State, Brazil, were used to develop equations to estimate bole biomass and carbon stock along tree age. Total trunk weights were estimated from volume calculations and wood density determinations by using the maximum humidity technique. The carbon stocks were estimated from a function relating trunk weight for each age and from the carbon content in each age determined by means of the combustion technique. The mean carbon content was 40.47%. No significant difference was noticed among tree ages, but the differences among individual trees were remarkable. Great differences among the stocked dry biomass and carbon were perceived and the probable causes are variations in size class and site index. At age 10 the dry biomass stocked varied between 60 to 210 kg/tree, with mean of approximately 120 kg. The carbon stocked in the tree bole varied between 30 to 85 kg, with mean of approximately 50 kg. It was concluded that the mean increment in terms of individual carbon stock was ca. 5 kg/year per tree, taking into account only the trunk.

**Keywords:** *Gmelina arborea*, Biomass, Tree ring analysis, Carbon sequestration, Wood density

<sup>1</sup>Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná - Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico Campus III - Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail: [edemilson@ufpr.br](mailto:edemilson@ufpr.br)

<sup>2</sup>Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná - Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico Campus III - Curitiba, PR - 80210-170 - Bolsista do CNPq - E-mail: [anacorte@floresta.ufpr.br](mailto:anacorte@floresta.ufpr.br); [sanquetta@floresta.ufpr.br](mailto:sanquetta@floresta.ufpr.br)

<sup>3</sup>Pesquisador do Departamento Florestal da Faber Castell - Rua 1º de Maio, 61 - São Carlos, SP - 13560-911 - E-mail: [cassiano.schneider@faber-castell.com.br](mailto:cassiano.schneider@faber-castell.com.br)

## INTRODUÇÃO

Os efeitos nocivos decorrentes do uso de combustíveis fósseis são uma das principais problemáticas da sociedade contemporânea. Contribui nesse contexto a devastadora ação antrópica sobre as florestas, que além de aumentar a concentração de gases poluentes pelas queimadas também trazem efeito sobre a menor assimilação do carbono pela própria redução da massa fotossintética viva. De acordo com Houghton (1998), de 1850 até o presente, o desflorestamento vem contribuindo com, aproximadamente, um terço do aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

As atividades de reflorestamento tornam-se uma opção viável e lógica para mitigar os problemas causados pela elevada taxa de emissão do CO<sub>2</sub>, principal responsável pelo aumento do efeito estufa. O reflorestamento é uma das modalidades de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) relatadas no Protocolo de Quioto como instrumento para auxiliar na redução das mudanças climáticas. Esta modalidade de MDL torna-se economicamente interessante para empresas transnacionais e governos de países responsáveis por grandes emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE) que, financiando projetos de seqüestro de carbono, obtêm créditos, visando compensar suas elevadas taxas de emissão. Para países em desenvolvimento, como o Brasil, ainda não incluídos no chamado Anexo I, os projetos de MDL apresentam-se como uma oportunidade ambiental e de negócios. Entretanto, para contribuir para o desenvolvimento sustentável destes países é necessário que o próprio país discuta, interna e democraticamente, o que se deseja deste mecanismo dentro da estratégia de desenvolvimento, para poder adequá-lo como forma de política pública (CHANG, 2004).

Independentemente do Protocolo de Quioto, em dezembro de 2004, quatorze empresas que, juntas, são responsáveis por metade da emissão anual do Reino Unido, fundaram a Bolsa do Clima de Chicago (CCX) na tentativa de criar um mercado de carbono próprio e alternativo. A CCX é uma plataforma auto-reguladora, designada e governada por seus membros, que estabelece as regras deste mercado, define linhas de base, estabelece o foco de emissões (além de monitorar as emissões) e define quais créditos são elegíveis. Para entrar na Bolsa de Clima de Chicago (CCX), os projetos brasileiros podem ser de seqüestro de carbono em reflorestamento, manejo sustentável, energia renovável ou florestamento (CARBONO BRASIL, 2002).

Vários pesquisadores de distintas áreas vêm dedicando esforços para descobrir maneiras viáveis de quantificar a biomassa presente nas florestas, pois isso é essencial para se ter projetos de MDL fidedignos (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). Vários estudos têm sido desenvolvidos com espécies clássicas utilizadas em reflorestamentos no Brasil, entre as quais *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp., *Mimosa scabrella*, *Araucaria angustifolia* entre outras, não havendo relato de quantificações de carbono em *Gmelina arborea* Roxb. plantada no Brasil.

Estudos conduzidos por Corte (2005) citam alguns teores encontrados nos fustes de outras espécies plantadas no Sul do Brasil: *Pinus* spp. variou perto de 41,0%, Bracatinga (*Mimosa scabrella*) foi 43,4% e Araucária (*Araucaria angustifolia*) foi 44,0%.

O presente trabalho tem como objetivo quantificar os teores e os estoques de carbono presentes na biomassa do fuste de *Gmelina arborea* Roxb. mediante a aplicação da técnica de reconstrução do crescimento via análise de tronco (ANATRO) aliada à análise química quantitativa por combustão. A pesquisa visa apresentar os elementos essenciais da quantificação de carbono necessária para formular projetos de MDL com a espécie em questão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

Os dados foram coletados no segundo trimestre de 2004 em área de 265,89 ha plantada com *Gmelina arborea* Roxb., localizada nas regiões de Morretes e Antonina, no litoral paranaense. A área total está dividida em 5 projetos florestais denominados: Funil, Morro do Cardoso, Passa Sete, Rincão e Santa Izabel (Figura 1). Tais projetos possuem plantios de diferentes idades, mas foram submetidos a tratamentos silviculturais semelhantes. O sistema de produção adotado é a talhadia, caracterizado nesta situação específica pela condução de brotação, sendo tal procedimento realizado também nos desbastes executados no manejo dos povoamentos. Em função disto os mesmos podem contemplar indivíduos com idades distintas.

### Características da espécie

A espécie alvo deste estudo é nativa do sul e sudeste da Ásia, sendo amplamente cultivada em países da região tropical. Adapta-se a regiões com precipitação de 762 a 5.000 mm/ano, tolerando um período seco de dois a oito meses.

A temperatura média ideal para o seu desenvolvimento deve variar entre 21 e 28°C, sendo a mínima tolerável 14°C e a máxima 35°C. Sua madeira é utilizada para obtenção de tábuas, fabricação de painéis, carrocerias, móveis, lápis, fósforos, polpa e também como fonte de energia. A espécie apresenta uma densidade básica de 0,42 a 0,64 g/cm<sup>3</sup> (DAVIDSON, 1985), durabilidade natural muito baixa a moderada, trabalhabilidade e secagem fácil e impregnação moderadamente difícil.

### Cubagem

O método de cubagem utilizado neste trabalho foi o de Hohenadl, com medidas de circunferência a 0% (base), 0,5%, 1%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 95% da altura total das árvores. Foram eleitas 50 árvores ao todo, distribuídas aleatoriamente pelos projetos em apreço, tendo como objetivo cobrir toda a variação diamétrica e etária. As árvores eleitas sempre foram exemplares sadios e retilíneos. Em cada uma das árvores cubadas foram retirados discos, na posição de 1,30 m em relação ao solo (DAP), sobre os quais foram medidos e contados os anéis de crescimento (análise de tronco) e feitas determinações dos teores de carbono no fuste.

### Preparação dos discos e contagem dos anéis de crescimento

Apesar de ser uma espécie nativa das regiões tropicais, *Gmelina arborea* Roxb. mostrou-se bem adaptada à região litorânea do Estado do Paraná, apresentando anéis de crescimento bem

definidos, proporcionando facilidade nas medições. Para a análise dos anéis de crescimento elegeram-se uma sub-amostra de 30 entre as 50 árvores cubadas, as quais estavam isentas de nós e possuíam anéis mais evidentes. Os discos foram secos em estufa até peso constante e, lixados para permitir a melhor visualização dos anéis.

A partir dos discos preparados, o procedimento de medição dos raios foi realizado, seguindo as regras da análise de tronco completa, ou seja, medição de quatro raios perpendiculares definidos a partir de 45° do maior raio existente no disco. As idades das árvores variaram de 4 a 13 anos.

### Preparação das amostras para análise laboratoriais

Para determinação da quantidade de carbono foram preparadas cunhas de cada disco, com o intuito de separar os fragmentos referentes aos anéis de crescimento da árvore. Tais cunhas foram retiradas dos discos com tamanhos adequados a proporcionar um volume de material suficiente para a análise de carbono de cada anel. Cuidado especial foi tomado para retirar as cunhas intactas e com todos os anéis de crescimento presentes, sendo utilizada para tal fim uma serra fita de espessura fina. Posteriormente efetuou-se a separação dos anéis de crescimento e a moagem completa do material até a consistência de pó, empregando-se um moinho de seis facas e peneiras metálicas. Cuidado foi tomado para não haver contaminação das amostras, mediante a limpeza do moinho com um jato de ar comprimido a cada moagem.

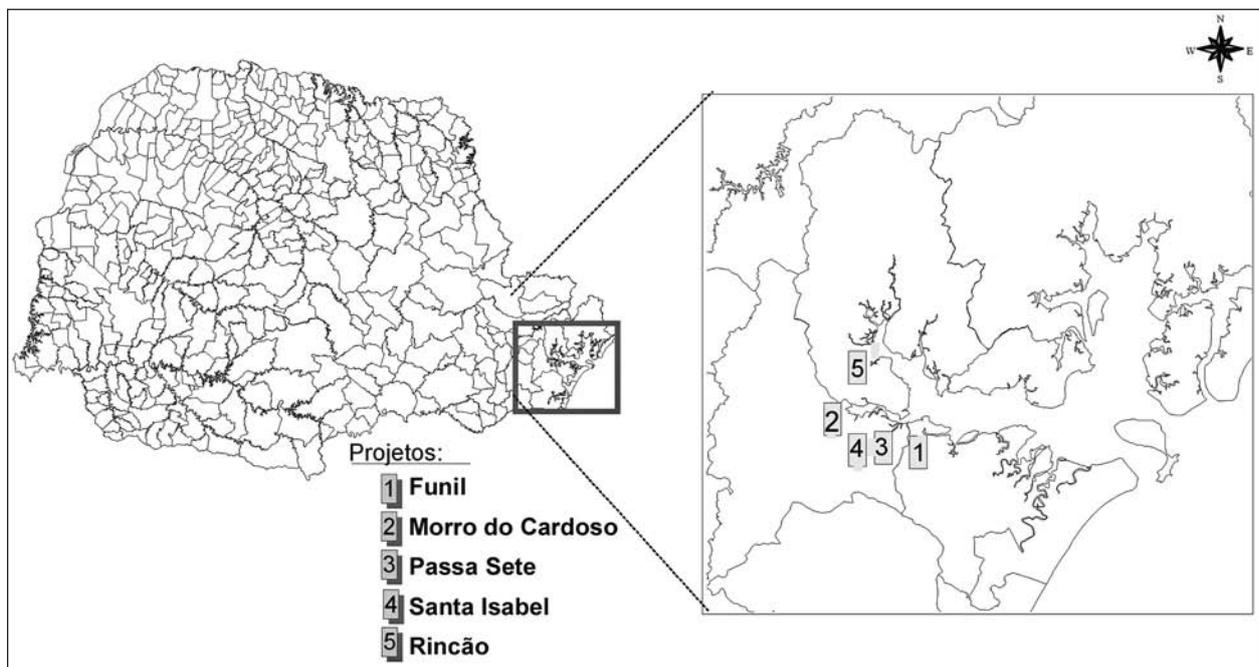


Figura 1. Localização da área de estudo (Location of the studied area)

## Determinação das densidades

Na determinação da densidade básica dos discos foram utilizadas duas cunhas de tamanhos distintos, sendo as cascas retiradas com auxílio de um formão. A metodologia adotada para determinação de densidade foi a de máximo teor de umidade (FOELKEL *et al.*, 1972, citados por SIF, 1984), que não implicava na medição de volumes, apenas na determinação dos pesos completamente secos e completamente saturados de umidade. A densidade básica foi então determinada através da seguinte fórmula:

$$db = \left( \frac{1}{Pu/Ps - 0,346} \right) * 1000$$

Onde: db = densidade básica (kg/m<sup>3</sup>);

Pu = peso da amostra saturada (g);

Ps = peso da amostra completamente seca (g);

0,346 = constante.

Para o cálculo do peso do fuste por idade foi utilizada a relação entre a densidade básica do disco e o volume estimado por idade. O ideal seria executar a determinação da densidade por anel de crescimento, entretanto, devido à dificuldade em se realizar tal procedimento, optou-se por utilizar a densidade determinada contemplando o disco inteiro, não captando as oscilações por idade desta variável.

## Determinação dos teores de carbono

Após prévia preparação, as amostras foram submetidas à análise de teor total de carbono, utilizando o método de combustão, empregando-se o analisador de carbono marca LECO, modelo C-144, o qual possui um software para registro digital dos resultados. Neste método, a amostra de material sólido é levada à combustão total sendo que um sensor infravermelho detecta a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado pela combustão, relacionando automaticamente com a quantidade de carbono elementar existente na amostra.

## Seleção dos modelos para obtenção das estimativas de produção de biomassa

### Modelos hipsométricos

A fim de se estimar as alturas individuais das árvores, em função dos seus diâmetros com casca no decorrer do crescimento, foram testados os modelos hipsométricos descritos na Tabela 1. Os dados para testar esses modelos advieram de 103 parcelas de inventário florestal.

Os modelos hipsométricos foram comparados pela análise gráfica de resíduos e pelos indicadores estatísticos:

**Tabela 1.** Modelos hipsométricos ajustados (Fitted models for the tree height-dbh relationship)

| Autor            | Modelo                            |
|------------------|-----------------------------------|
| Chapman-Richards | $h = b_0(1 - \exp(-b_1*d))^{b_2}$ |
| Curtis           | $\ln(h) = b_0 + b_1*1/d$          |
| Henriksen        | $h = b_0 + b_1*\ln(d)$            |
| Stoffels         | $\ln(h) = b_0 + b_1*\ln(d)$       |
| Prodan           | $h = d^2 / b_0 + b_1*d + b_2*d^2$ |

h = altura total;

d = diâmetro à altura do peito (DAP);

b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> = coeficientes ajustados.

**Coefficiente de determinação (R<sup>2</sup>)** - que expressa o quanto às variações da variável dependente são explicadas pelas variáveis independentes, sendo calculada pelas seguintes expressões:

$$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \rightarrow SQ_{total} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \rightarrow$$

$$R^2 = \left( \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \right)$$

Onde:

SQ<sub>res</sub> = soma dos quadrados dos resíduos;

SQ<sub>total</sub> = soma do quadrado total;

n = número de observações;

Y<sub>i</sub> = valores observados reais;

$\bar{Y}$  = média aritmética de Y;

$\hat{Y}_i$  = valor estimado;

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

**Erro padrão da estimativa** - expressa o quanto, em termos médios, os valores observados variam em relação aos valores estimados, sendo expresso por:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad \text{ou,} \quad S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx} * 100}{X}$$

Onde:

S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa;

S<sub>yx</sub>(%) = erro padrão da estimativa expresso em percentagem;

Y<sub>i</sub> = valores observados reais;

$\bar{Y}$  = média aritmética de Y;

$\hat{Y}_i$  = valor estimado;

n = número de observações;

p = número de coeficientes.

O erro padrão da estimativa representa a diferença média entre uma estimativa dada por uma equação ajustada e seus respectivos valores reais utilizados para seu ajuste (GORDON e GORDON, 1994).

Os valores foram devidamente corrigidos para os modelos transformados para a comparação com os modelos aritméticos.

A análise gráfica indica se o ajuste foi bom ao longo de toda a linha estimativa, se não há ten-

denciosidades, se os resíduos são independentes e se a variância é homogênea em toda a extensão dos valores estimados (EISFELD, 2004). O erro padrão da média é o desvio padrão da distribuição amostral da média e representa uma medida de precisão de um levantamento em relação à intensidade amostral (GORDON e GORDON, 1994).

### Modelos volumétricos

Para ajustar modelos a partir dos dados relativos aos volumes totais, alturas estimadas e diâmetros individuais, obtidos pelo processo de cubagem, foram ajustados e comparados modelos volumétricos a fim de se estimar os volumes totais nas diferentes idades, para posteriormente inferir a quantidade de biomassa presente no fuste, sendo tais modelos descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Modelos volumétricos ajustados (Fitted models for trunk volume)

| Autor           | Modelo  |
|-----------------|---|
| Husch           | $\ln(v) = b_0 + b_1 \cdot \ln(d)$   |
| Meyer           | $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot h + b_4 \cdot d^2 \cdot h$ |
| Schumacher-Hall | $\ln(v) = b_0 + b_1 \cdot \ln(d) + b_2 \cdot \ln(h)$                          |
| Stoate          | $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot h^2 + b_3 \cdot d^2 \cdot h$             |
| Spurr           | $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h$   |

v = volume individual;

d = diâmetro à altura do peito (DAP);

h = altura total;

$b_0$ ,  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes ajustados.

Da mesma forma, como nos modelos hipsométricos, foram utilizados os indicadores estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) expresso em percentagem, sendo corrigidos quando necessário, procedendo-se à comparação em função destes e dos gráficos de resíduos. O teor de carbono e a biomassa para casca não foram alvo de estudo neste trabalho.

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas das informações do povoamento (Descriptive statistics of the stand)

| Variável                       | N   | Média  | LI - IC | LS - IC | Variância | Desvio Padrão | Erro Padrão da média | C.V.  |
|--------------------------------|-----|--------|---------|---------|-----------|---------------|----------------------|-------|
| Teor Carbono(%/100)            | 248 | 0,4047 | 0,4046  | 0,4048  | 0,000116  | 0,0107        | 0,0006               | 2,66% |
| Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | 248 | 586,28 | 579,32  | 593,24  | 3.096,4   | 55,6442       | 3,5334               | 9,49% |

N = número de observações;

LI-IC = limite inferior do intervalo de confiança;

LS-IC = limite superior do intervalo de confiança.

**Tabela 4.** ANOVA para os teores de carbono em função das árvores e das idades (ANOVA of carbon content among trees and ages)

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F      | p                    |
|-------------------|--------------------|----------------|--------|----------------------|
| Árvore            | 29                 | 0,00050        | 14,965 | 0,0000**             |
| Erro              | 218                | 0,00003        |        |                      |
| Idade             | 12                 | 0,00008        | 0,975  | 0,4734 <sup>ns</sup> |
| Erro              | 235                | 0,00008        |        |                      |

\* Significativo a 95% de probabilidade;

ns Não significativo a 95% de probabilidade;

p = nível de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Varição nos teores de carbono e na densidade da madeira no fuste

As principais estatísticas referentes aos teores de carbono no fuste de *Gmelina arborea* Roxb. são apresentadas na Tabela 3, levando-se em conta as amostras (discos) tomadas no DAP das 30 árvores selecionadas para análise.

Como se observa na Tabela 3, a variação nos teores de carbono nas 248 amostras foi bastante baixa, fato refletido pelo erro padrão da média de 0,0006% e pelo coeficiente de variação de 2,66%. No tocante à densidade da madeira, as variações foram maiores, com erro padrão da média de 3,5334 kg/m<sup>3</sup> e coeficiente de variação de 9,59%.

Para testar a hipótese da existência de diferenças significativas entre as 30 árvores e entre as distintas idades das mesmas foram realizadas análises de variância (ANOVA), conforme explicitado na Tabela 4.

Os resultados da ANOVA mostraram que existem diferenças significativas nos teores de carbono entre árvores, mas não entre idades. Vê-se nas Figuras 3 e 4 as médias dos teores médios das árvores e das distintas idades, com os respectivos intervalos para uma e duas unidades de desvios padrão. É evidente a maior variação entre árvores do que entre idades. Isto significa que para determinação dos teores de carbono é mais importante tomar uma amostra representativa das variações entre árvores do que entre idades. Em outras palavras, poderiam ser desconsideradas as variações entre idades, amostrando-se um número suficiente de árvores para obter estimativas precisas. Com base nas estatísticas deste estudo a amostra suficiente para obter estimativas

com um limite de erro de 10% seria de 1 indivíduo. Porém para que seja possível uma boa estimativa bem como uma melhor validação dos teores, recomenda-se que no mínimo sejam avaliados entre 20 e 30 indivíduos. Posteriormente, para possíveis monitoramentos, poder-se-ia diminuir a intensidade amostral.

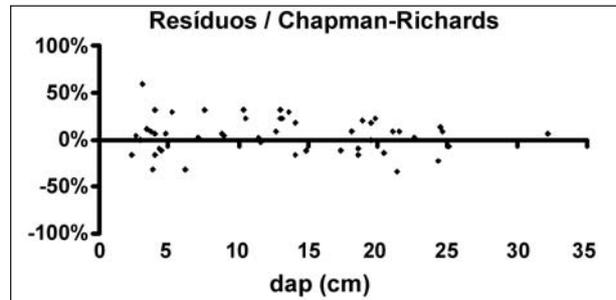
Estimativa do estoque individual de carbono

Para obter estimativas do estoque de carbono contido no fuste de cada árvore foi necessário desenvolver equações hipsométricas e volumétricas, com base nas medições nas 103 parcelas de inventário e nas 50 árvores cubadas.

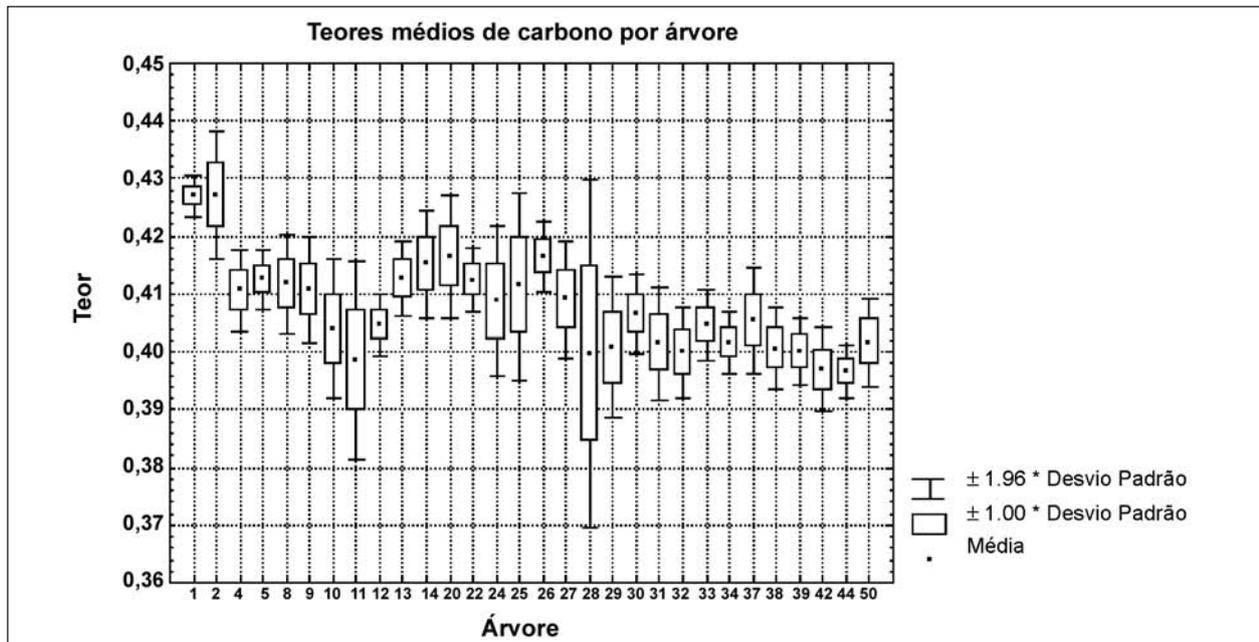
Os coeficientes dos modelos hipsométricos testados e suas estatísticas são apresentados na Tabela 5. A Figura 4 apresenta o gráfico da distribuição dos resíduos para o modelo de melhor ajuste, isto é, o de Chapman-Richards.

**Tabela 5.** Coeficientes ajustados para os modelos hipsométricos (Model parameters for the height-dbh relationship)

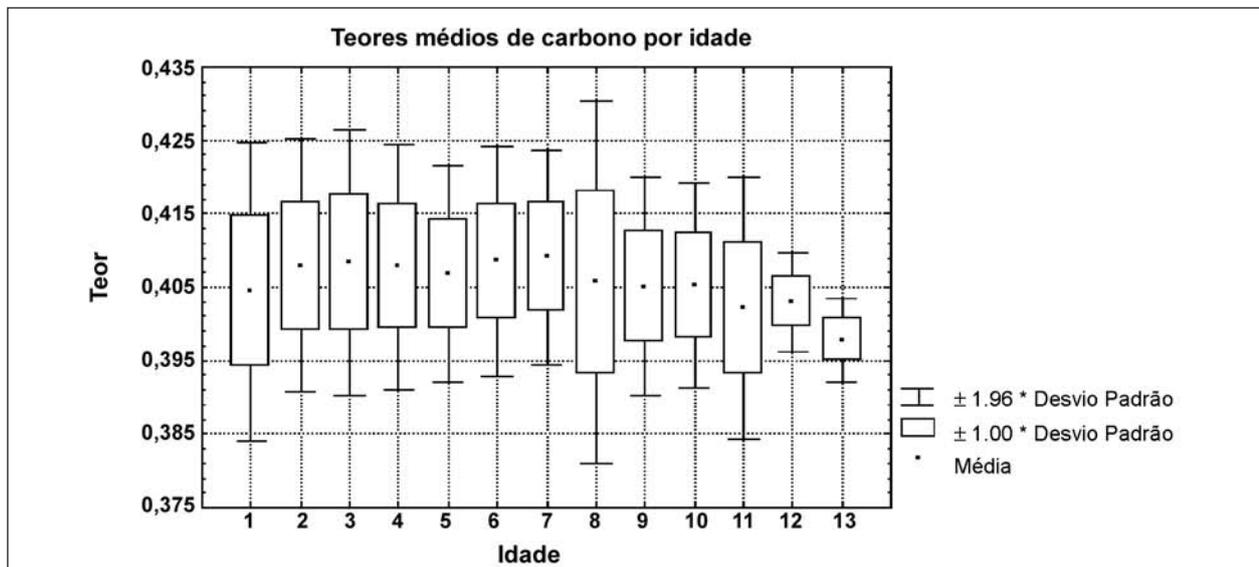
| Modelo           | B <sub>0</sub> | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | R <sup>2</sup> | Syx  | Syx%  |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-------|
| Chapman-Richards | 129,642        | 0,002          | 0,689          | 0,82           | 2,44 | 18,89 |
| Curtis           | 2,931          | -4,603         |                | 0,76           | 2,59 | 22,00 |
| Henriksen        | -3,076         | 6,321          |                | 0,81           | 2,27 | 19,29 |
| Stoffels         | 0,813          | 0,650          |                | 0,81           | 2,25 | 19,14 |
| Prodan           | -1,353         | 0,932          | 0,021          | 0,80           | 2,32 | 19,69 |



**Figura 4.** Análise gráfica da distribuição dos resíduos para o melhor modelo hipsométricos ajustados (Residual graphical analysis for the best fitting height-dbh model)

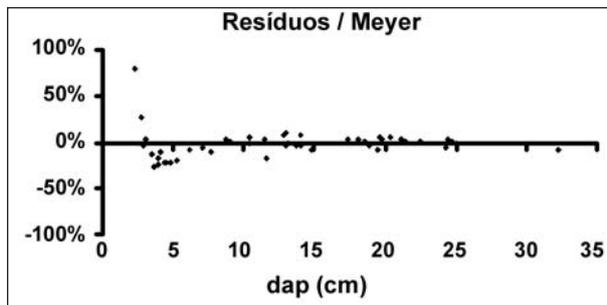


**Figura 2.** Relação dos teores de carbono por árvore (Carbon content by tree)



**Figura 3.** Relação dos teores de carbono para as diferentes idades (Carbon content by tree age)

Os coeficientes dos modelos volumétricos testados e suas estatísticas são apresentados na Tabela 6. Já a Figura 5 apresenta o gráfico da distribuição dos resíduos para o modelo de melhor desempenho, ou seja, o de Meyer.

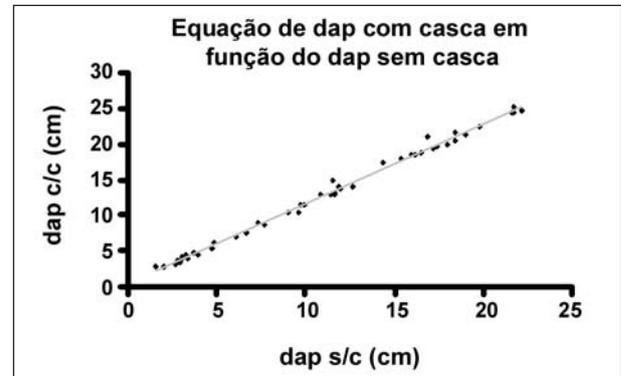


**Figura 5.** Distribuição dos resíduos do melhor modelo volumétricos (Residual graphical analysis for the best fitting volume model)

Além dos modelos hipsométricos e volumétricos foi também preciso desenvolver um modelo para estimar o DAP com casca dos fustes a partir da medida de DAP sem casca, medidos nos anéis de crescimento tomados nos discos de madeira. O modelo da reta ajusta-se bem para essa finalidade (Figura 6).

Tendo por base as equações hipsométricas, volumétricas e de DAP com casca foi possível estimar o peso seco de cada árvore, multiplicando-se a densidade básica ( $\text{kg/m}^3$ ), determinada em laboratório, pelo volume total estimado em  $\text{m}^3$ . O resultado dessa operação pode ser visuali-

zado na Figura 7. Para as densidades básicas foi realizada uma análise para verificar se existiam diferenças significativas entre as densidades das árvores, mas se constatou que a idade das mesmas não influenciava o valor encontrado para a variável densidade.

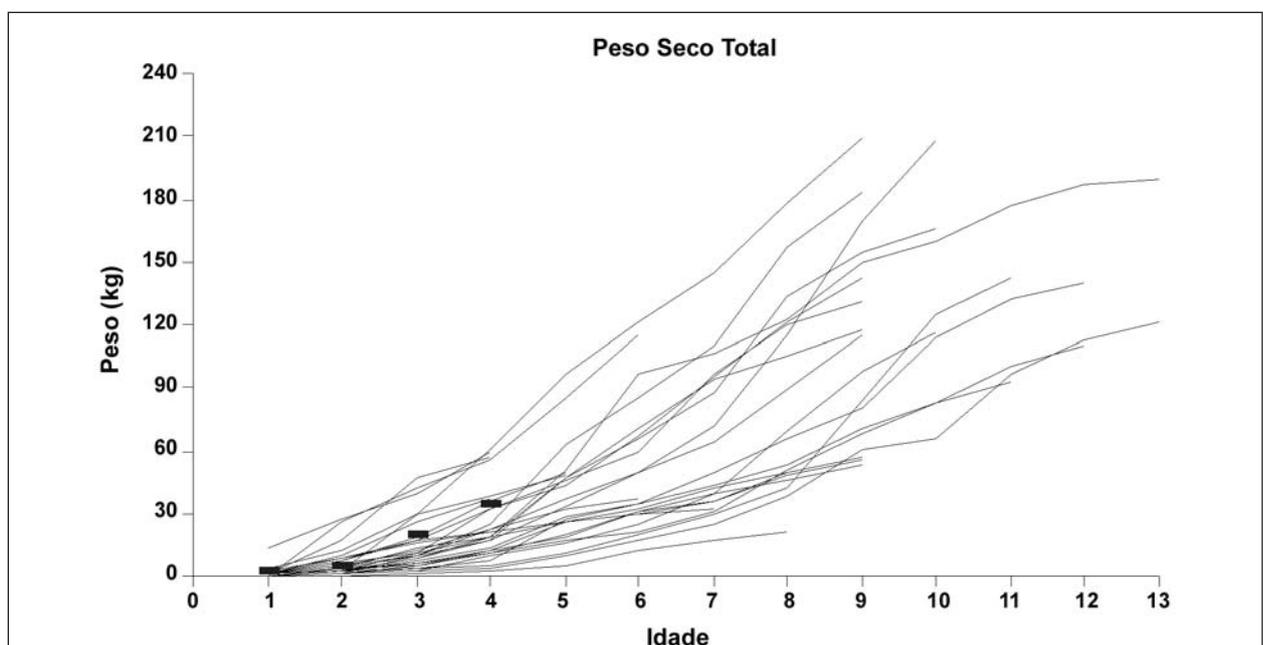


**Figura 6.** Gráfico de ajuste para obtenção dos diâmetros com casca. (Graph of the inbark-outbark diameter relationship)

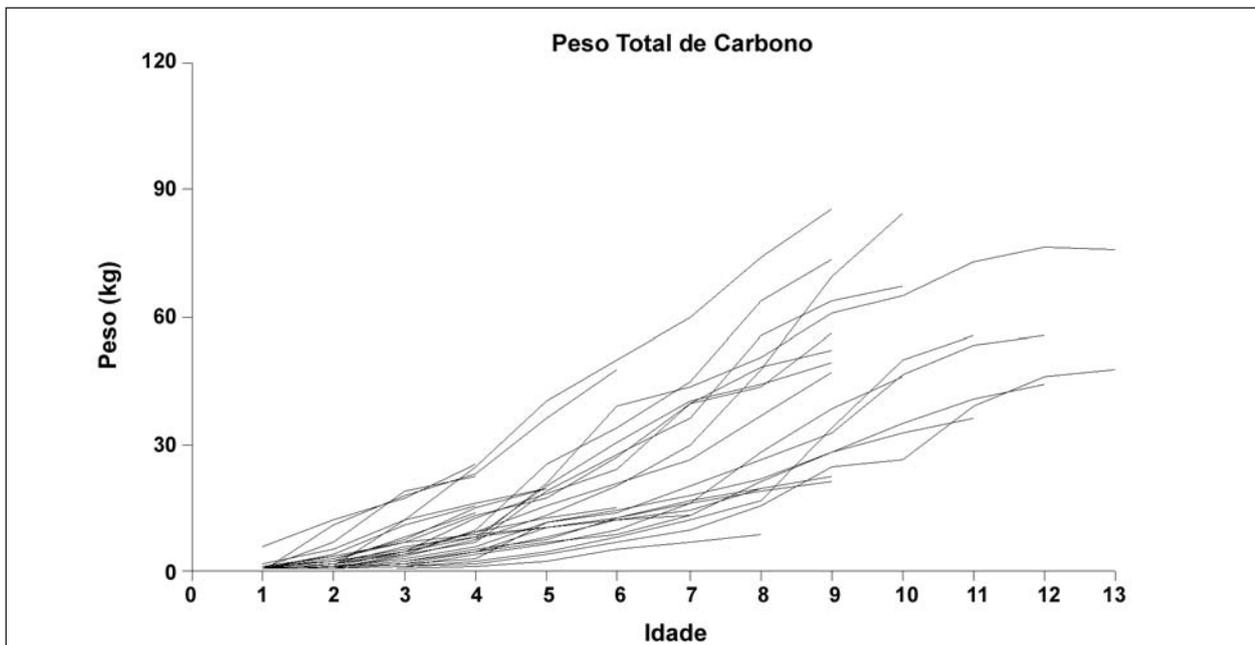
Com as estimativas de peso seco em mãos buscou-se estimar, por final, o estoque individual de carbono no fuste da espécie em estudo. O peso total de carbono em kg no fuste foi encontrado, multiplicando-se o peso total estimado em cada ano pelo teor de carbono quantificado também em cada ano, apresentando desta maneira a estimativa da quantidade de carbono fixado pela espécie no decorrer do seu crescimento (Figura 8).

**Tabela 6.** Coeficientes ajustados para os modelos volumétricos (Model coefficients for trunk volume)

| Modelo          | $B_0$   | $B_1$                 | $B_2$                 | $B_3$                 | $B_4$              | $R^2$ | Syx  | Syx%  |
|-----------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------|------|-------|
| Husch           | -8,5167 | 2,3534                |                       |                       |                    | 0,98  | 0,03 | 20,05 |
| Meyer           | -0,0045 | 0,0020                | $-8,0 \times 10^{-5}$ | $5 \times 10^{-5}$    | $4 \times 10^{-5}$ | 0,99  | 0,01 | 7,14  |
| Schumacher-Hall | -9,1175 | 1,8735                | 0,7382                |                       |                    | 0,98  | 0,02 | 17,86 |
| Stoate          | 0,0018  | $3,79 \times 10^{-5}$ | $4,43 \times 10^{-5}$ | $3,19 \times 10^{-5}$ |                    | 0,99  | 0,01 | 7,20  |
| Spurr           | 0,0084  | $3,44 \times 10^{-5}$ |                       |                       |                    | 0,99  | 0,01 | 7,62  |



**Figura 7.** Biomassa estimada para diferentes idades (Predicted biomass along age)



**Figura 8.** Carbono estimado para as diferentes idades (Predicted biomass along age)

É importante ressaltar que as Figuras 7 e 8 apresentam os mesmos comportamentos, ficando apenas diferenciados pela escala em que os valores ocorreram. Isso se deve à utilização de um teor médio individual.

Observa-se que a evolução da biomassa seca do fuste e do peso de carbono nele contido segue um curso sigmoidal, típico de curvas de crescimento de árvores. Todavia, existe uma diferença entre os padrões de crescimento em biomassa e carbono entre as árvores, fato determinado pela posição sociológica das árvores e dos respectivos sítios em que crescem. Como as árvores foram amostradas seguindo o comportamento médio e representativo dos povoamentos, pode-se dizer que correspondem bem à realidade. A Tabela 7 apresenta os dados médios estimados de volume total e biomassa por idade.

**Tabela 7.** Médias de volume, biomassa e teores de carbono nas idades (Means of volume, biomass and carbon content by tree age)

| Idades (anos) | DAP c/c (cm) | Vol (m <sup>3</sup> ) | Peso Seco (kg) | Carbono (%) |
|---------------|--------------|-----------------------|----------------|-------------|
| 1             | 2,5          | 0,00225               | 1,41           | 40,44       |
| 2             | 4,9          | 0,01004               | 6,11           | 40,79       |
| 3             | 7,3          | 0,02467               | 14,74          | 40,83       |
| 4             | 9,3          | 0,04128               | 24,50          | 40,77       |
| 5             | 11,2         | 0,06245               | 36,31          | 40,68       |
| 6             | 12,8         | 0,08543               | 49,26          | 40,85       |
| 7             | 14,1         | 0,10796               | 61,51          | 40,91       |
| 8             | 16,2         | 0,14787               | 83,76          | 40,57       |
| 9             | 18,5         | 0,19717               | 111,19         | 40,51       |
| 10            | 19,8         | 0,22478               | 124,29         | 40,53       |
| 11            | 19,9         | 0,22550               | 123,33         | 40,22       |
| 12            | 21,3         | 0,26264               | 137,64         | 40,29       |
| 13            | 23,1         | 0,31688               | 155,11         | 39,78       |

O próximo passo será desenvolver um modelo completo de crescimento e produção em volume, biomassa e carbono por unidade de área para a espécie. Para esse propósito será indispensável obter estimativas fidedignas da frequência em cada idade, mediante remeidições sucessivas nas parcelas permanentes do inventário florestal.

## CONCLUSÕES

- A média dos teores de carbono no fuste para a espécie é de 40,47%;
- Não há variação expressiva no teor de carbono entre as diferentes idades das árvores, mas as diferenças entre árvores se mostraram estatisticamente significativas;
- As árvores da espécie em estudo acumularam biomassa seca e carbono de modo bastante diferenciado, em função das variações de posição sociológica e sítio. Na idade de 10 anos o acúmulo de biomassa seca variou de 60 a 210 kg/árvore, com média de aproximadamente 120 kg. A quantidade de carbono no fuste variou entre árvores de cerca de 30 kg até 85 kg, com média de aproximadamente, 50 kg, podendo-se afirmar que o incremento médio em carbono é de cerca de 5 kg/ano por árvore, considerando apenas o fuste;
- Ao planejar uma amostragem objetivando quantificar o carbono fixado, devem-se priorizar as variações entre as árvores que se encontram em diferentes situações ante as idades.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Umberto Klock e ao Mestrando Alan Sulato de Andrade,

pela disponibilização do espaço e dos equipamentos do Laboratório de Polpa e Papel da UFPR. Reconhecimento também à empresa Faber Castell, pela cessão de suas áreas para pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHANG, M.Y. Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. In: FIXAÇÃO DE CARBONO: ATUALIDADES, PROJETOS E PESQUISAS, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p.15-37

CORTE, A.P.D. **Metodologia para detecção da elegibilidade, linha de base e monitoramento de projetos de MDL florestal**. 2005. 106p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DAVIDSON, J. **Assistance to the forestry sector of Bangladesh: species and sites - what to plant and where to plant**. Bangladesh: UNDP / FAO, 1985. 50p. (Field Document, 5)

EISFELD, R.L. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* (L.) por meio de função probabilística e processo de difusão**. 2004. 67p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GORDON, S.P.; GORDON, F.S. **Contemporary statistics: a computer approach**. New York: McGraw-Hill, 1994. 695p.

HOUGHTON, R.A. Forest resources: past, present and future role of managed and unmanaged forests in the global carbon balance. In: CARBON DIOXIDE MITIGATION IN FORESTRY AND WOOD INDUSTRY, 1998, Frankfurt. **Anais...** Frankfurt, 1998.

CARBONO BRASIL. **Mercado de carbono: Bolsa do Clima de Chicago (CCX)**. Disponível em: <http://www.carbonobrasil.com/> Acesso em: 30 setembro 2002.

SANQUETTA, C.R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: FIXAÇÃO DE CARBONO: ATUALIDADES, PROJETOS E PESQUISAS, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p.77-92

SIF - SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico**. SIF, Viçosa, n.1, p.1-15, 1984.

Recebido em 10/11/2004

Aceito para publicação em 20/04/2006

