

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E SOLOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

MÁIDA CYNTHIA DUCA DE LIMA

**BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE *Pinus caribaea* var
hondurensis EM PLANTIO HOMOGÊNEO NO SUDOESTE DA
BAHIA**

**VITÓRIA DA CONQUISTA- BA
2014**

MÁIDA CYNTHIA DUCA DE LIMA

**ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE
Pinus caribaea var *hondurensis* EM PLANTIO HOMOGÊNICO NO
SUDOESTE DA BAHIA**

Monografia apresentada à Universidade
Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB
/campus Vitória da Conquista – BA,
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^a. D.Sc. Patrícia
Anjos Bittencourt Barreto

VITÓRIA DA CONQUISTA- BA

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E SOLOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

Campus de Vitória da Conquista – BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Biomassa e estoque de carbono de *Pinus caribaea* var *hondurensis* em plantio homogêneo no Sudoeste da Bahia

Autor: Máida Cynthia Duca de Lima

Aprovada como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA FLORESTAL, pela Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto - UESB
Presidente

Prof^o Dr. Joilson Silva Ferreira - UESB

Prof^a Danusia Valeria Porto da Cunha – UESB

Data de realização: 21 de Julho de 2014

UESB – Campus Vitória da Conquista, Estrada do Bem Querer, Km 04

Telefone: (77) 3425-9380

Telefax: (77) 3424-1059

CEP: 45083-900 E-mail: ccengflor@uesb.edu.br

AGRADECIMENTOS

É chegado o momento da realização de um sonho no qual pensei muitas vezes em desistir, no entanto tenho pessoas muito especiais ao meu lado para me dar força e continuar em busca dos meus propósitos.

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, possibilitando a concretização de um sonho e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela para a concretização de um sonho.

A minha orientadora Patrícia Anjos Bittencourt Barreto, pelo empenho e paciência dedicados à elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Sônia e José, pelo apoio e amor incondicional, além do incentivo nas horas difíceis, onde o desânimo e o cansaço pareciam não ter fim. A minha irmã Lívia Duca e seu marido Thiago Almeida pelo carinho e amor transmitido nos momentos mais difíceis e a minha família de forma geral... Esta vitória sem dúvidas também é de vocês.

Ao meu namorado Marco Antônio por sempre me compreender e pela flexibilidade para comigo, tinha momentos que nem eu me suportava, mas ele conseguia me acalmar (rsrsrs), obrigada pelo amor imensurável!

Aos meus amigos e colegas em especial as minhas eternas companheiras Larissa Rocha, Giselle Lemos e Liliane Roque, onde compartilhamos de tudo um pouquinho, foram momentos felizes, tristes e engraçados. Vocês serão para sempre minhas best friends.

Também agradeço muito a Suellen Monteiro, Willyan Charles, Jefferson Gomes, Kellen Cosmo, Mislene Barbosa, Wilmerson Bernardino, Iuri Araujo, Keila Cordeiro e Francisnei Brilhante, por estarem sempre me dando apoio e por serem pessoas tão maravilhosas, que jamais esquecerei.

A todos que de alguma forma fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada... Todos vocês fazem parte desta vitória.

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.” Roberto Shinyashiki

*A formatação do presente trabalho segue as normas
textuais da revista Pesquisa Florestal Brasileira.*

ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO DE *Pinus caribaea* var *hondurensis* EM PLANTIO HOMOGÊNEO NO SUDOESTE DA BAHIA

Máida Cynthia Duca de Lima¹, Patrícia Anjos Bittencourt Barreto²

¹Graduanda em Engenharia Florestal, UESB, Vitória da Conquista, Ba, Brasil -maidaflorestal@gmail.com

²Eng. Florestal. Depto. de Engenharia Agrícola e Solos, UESB, Vitória da Conquista, Ba, Brasil – patriciabarroto@uesb.edu.br

Resumo - O conhecimento acerca da biomassa é um fator imprescindível para o entendimento do potencial produtivo de um povoamento florestal. Dentre as três principais variedades de *Pinus* plantadas no Brasil, destaca-se o *P. caribaea* var. *hondurensis*, sendo a espécie mais plantada nas zonas quentes do país. No entanto, o conhecimento acerca do seu potencial produtivo no Nordeste ainda é incipiente. Este estudo objetivou avaliar a distribuição dos estoques de biomassa e carbono e o ajuste de modelos matemáticos para obtenção de estimativas destas variáveis em árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis*, estabelecidas em plantio homogêneo, no Sudoeste da Bahia. Para a quantificação da biomassa empregou-se o método destrutivo, selecionando-se 20 indivíduos. Depois do abate, as árvores foram fracionadas (acículas, fuste, casca e galhos) e pesadas. De cada componente, retiraram-se amostras que foram pesadas e moídas, para determinar o teor de carbono por meio de um analisador a seco. De posse dos dados de biomassa e carbono, foram ajustados treze modelos. Os melhores modelos foram selecionados com base no valor ponderado dos escores estatísticos que considerou os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa (Syx%), critério de informação de Akaike (AIC) e logaritmo da máxima verossimilhança (LMV). A biomassa seca dos diferentes compartimentos da parte aérea das árvores mostrou maior participação do fuste, seguido da casca, galhos e acículas. Os estoques de biomassa total e de carbono do povoamento foram 59 e 36 Mg ha⁻¹, respectivamente. Os modelos de Curtis e de Schumacher-Hall Log são os mais recomendados para a estimativa da biomassa seca total e de carbono da espécie nas condições estudadas.

Palavras-chave: modelos matemáticos, espécie florestal exótica, ajustes.

Abstract – The knowledge of biomass is an essential factor for understanding the productive potential of a forest stand. Among the three main varieties of *Pinus* planted in Brazil, there is *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, most species planted in the warm areas of the country. However, the knowledge of their productive potential in the Northeast is still incipient. This study aims to evaluate the distribution of biomass and carbon stocks and adjusting mathematical models to obtain estimates of these variables in *P. caribaea* var. *hondurensis* established in monoculture plantation in the southwest of Bahia. For quantification of biomass we used the

destructive method, selecting 20 individuals. After slaughter, the trees were fractionated (needles, stem, bark and twigs) and weighed. Each component samples taken were weighed and ground, determining the carbon content by means of an analyzer dry. Having the data of biomass and carbon thirteen models were fitted. The best models were selected based on the weighted scores of the statistical value that considered the following criteria: adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of estimate ($Sy_x\%$), Akaike information criterion (AIC) and the logarithm of the maximum likelihood (LML). The dry biomass of the different compartments of the aerial part of the trees showed greater involvement of the shaft, followed by bark, twigs and needles. Inventories of total biomass and carbon of the settlement were 59 and 36 Mg ha⁻¹, respectively. Models of Curtis-Hall and Schumacher Log are the most recommended for the estimation of total biomass and carbon species in the studied conditions.

Keywords: mathematical models, exotic forest species, adjustments.

Introdução

Os ecossistemas florestais representam cerca de 90% da biomassa total existente na Terra, ocupando aproximadamente 40% da sua superfície (GARDNER & MANKIN, 1981). A estimativa da biomassa é considerada uma importante ferramenta na avaliação e utilização racional destes ecossistemas, permitindo inferências acerca da concentração de elementos minerais, conversão de energia, ciclagem de nutrientes (GOLLEY et al., 1971) e quantificação de madeira, bem como da exportação de carbono e nutrientes depois da exploração florestal (HIGUCHI et al., 1998).

O conhecimento dos teores de carbono e suas quantidades estocadas na biomassa das florestas também pode indicar o potencial dessas coberturas em sequestrar C da atmosfera (RAVINDRANATH & OSTWALD, 2008), constituindo, assim, um serviço ambiental promotor da mitigação de mudanças climáticas por gases de efeito estufa, com destaque para o CO₂ (FERNANDES, 2006). Deste modo, a avaliação concisa e fidedigna da biomassa é fundamental para os estudos que visam à quantificação da captura de carbono pelas florestas (SANQUETTA et al., 2004).

De acordo com Higuchi & Carvalho Júnior (1994), a quantificação de biomassa florestal pode ser realizada empregando métodos diretos (determinação) e indiretos (estimativas). Os métodos diretos representam uma medição feita diretamente na biomassa, como, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Já o método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil alcance e que não requeira a destruição do material vegetal, podendo ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura e volume), de sensoriamento remoto (imagens de satélite) ou utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (SIG).

Segundo Koehler et al. (2002), o ajuste de equações pelo uso de técnicas de regressão, onde o peso da árvore ou de cada um dos seus componentes é relacionado com variáveis dendrométricas, é o procedimento mais comumente utilizado para estimar a biomassa de forma indireta. Da mesma forma, tendo em vista que os compostos de carbono constituem grande parte da biomassa florestal (WATZLAWICK et al., 2006), o ajuste de modelos para estimar os estoques de carbono também vêm sendo cada vez mais empregado. No entanto, de acordo com Sanquetta (2002), é fundamental que a seleção das melhores equações seja feita a partir de uma avaliação criteriosa das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste, como o erro padrão da estimativa e o coeficiente de determinação, além do exame gráfico do comportamento dos resíduos.

De uma maneira geral, os ajustes dos modelos de biomassa e de carbono vêm sendo realizados de forma independente para cada compartimento da árvore (fuste, casca, galhos, folhas e raízes). Entretanto, Paulo & Tomé (2006), sugerem o ajustamento simultâneo (biomassa total), pois resulta em uma melhor estimativa,

garantindo a qualidade global da predição para os compartimentos e também para a árvore.

No Brasil, existe uma grande quantidade de estudos sobre diferentes métodos de avaliação de biomassa e carbono em espécies exóticas de rápido crescimento, dentre as quais estão várias espécies do gênero *Pinus* em diferentes regiões do país. No Nordeste, apesar da crescente expansão das áreas plantadas com este gênero, o conhecimento acerca do seu potencial produtivo ainda é incipiente, não se verificando, até o presente, registros de estudos sobre estoques de biomassa e carbono nas condições dessa região e, em particular, no Estado da Bahia.

De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2004), as plantações de *Pinus* cobrem 1,8 milhões de hectares do território nacional, sendo o segundo gênero mais plantado no Brasil e se destinam a diversas utilidades industriais. Dentre as três variedades existentes destaca-se o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, sendo a espécie mais plantada em reflorestamentos nas zonas quentes do país.

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo avaliar a distribuição dos estoques de biomassa e carbono e o ajuste de modelos matemáticos para obtenção de estimativas destas variáveis em árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, estabelecidas em plantio homogêneo, localizado em Vitória da Conquista (BA).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido em um povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 10 anos de idade e espaçamento de 3 m x 3 m, localizado na área

experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (14°53' S e 40°48' W), município de Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

A região encontra-se situada a 14° 88' 36" de latitude Sul e 40° 78' 92" de longitude Oeste e, apresenta clima tropical de altitude (Cwb), segundo a classificação climática de Köppen, precipitação média anual de 733,9 mm, altitude de 928 m e temperaturas médias de 25,3 °C (máxima) e de 16,1 °C (mínima). O relevo é plano a suavemente ondulado. O solo corresponde a classe Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Quantificação da biomassa e carbono

Para a determinação da biomassa, foram selecionadas 20 árvores, distribuídas em cinco classes de diâmetro com amplitude de quatro centímetros. Na ocasião do desbaste, as árvores do povoamento apresentavam diâmetro a altura de 1,3 m (DAP) entre 5,8 e 23,8 cm. Procedeu-se então o abatimento e determinação da biomassa das árvores selecionadas, considerando o método de simples separação (SANQUETTA et al., 2004). Cada árvore-amostra foi medida para obtenção de DAP e altura total (H) e, em seguida fracionada nos compartimentos acículas, galhos, casca e fuste, que foram pesados em balança mecânica, com capacidade de 150 kg e precisão de 50 g, para determinação da biomassa verde.

Após a pesagem, retiraram-se amostras de 300 g de cada compartimento da biomassa, que foram ensacadas, identificadas e conduzidas ao laboratório. As amostras foram descascadas e levadas para secagem em estufa a 65 °C até estabilização do peso de matéria seca. Depois de secas, as amostras foram pesadas e moídas até a consistência de pó, empregando-se um moinho de seis facas e peneiras metálicas.

A determinação dos teores de carbono das amostras foi realizada no BIOFIX (Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa) pertencente à UFPR, por meio de analisador de carbono Leco C-144. Neste equipamento, a amostra de material sólido é levada à combustão total, e um sensor infravermelho acoplado detecta a quantidade de dióxido carbono (CO₂) gerado pela combustão, que é relacionado automaticamente com a quantidade de carbono existente na amostra (MELO et al., 2014).

A biomassa seca dos componentes das árvores (acículas, galhos, casca e fuste) foi estimada por meio da multiplicação da biomassa verde total pela massa seca da amostra dividida pela massa da amostra úmida.

Seleção dos modelos matemáticos

Antes de ajustar os modelos foram estabelecidas e avaliadas as correlações entre as variáveis de interesse, que indicou a relevância de se adotar apenas ajustes para os estoques de carbono e biomassa arbórea total, uma vez que para os compartimentos separadamente houve baixa correlação entre as variáveis dependentes (biomassa e carbono) e independentes (DAP e H) consideradas.

Para selecionar o modelo mais adequado para obtenção de estimativas do estoque de biomassa total e carbono da espécie estudada foram testadas 13 equações matemáticas descritas na literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos testados para estimativa de biomassa e carbono de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Número	Modelo	Denominação ou Autor
1	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln DAP} + \varepsilon$	Stoffels
2	$\text{Ln } Y = \beta_0 + \beta_1 / \text{DAP} + \varepsilon$	Curtis
3	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \beta_2 \text{DAP}^2 + \varepsilon$	Parábola
4	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \varepsilon$	Modelo da Linha Reta
5	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \beta_2 \text{DAP}^2 + \beta_3 \text{DAP}^3 + \varepsilon$	*
6	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^2 + \varepsilon$	Kopezky – Gehrhardt
7	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^2 \text{H} + \varepsilon$	Spurr
8	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^2 + \beta_2 \text{DAP}^2 \text{H} + \beta_3 \text{H} + \varepsilon$	Stoate
9	$\text{Ln } (Y) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln } (\text{DAP}) + \beta_2 \text{Ln } (\text{H}) + \varepsilon$	Schumacher-Hall Log
10	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^{0.5} * \text{Ln DAP} + \varepsilon$	*
11	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \beta_2 \text{H} + \varepsilon$	Schumacher- Hall
12	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 \text{Ln H} + \varepsilon$	Schumacher-Hall modificado
13	$Y = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP} + \beta_2 \text{DAP}^2 + \beta_3 \text{DAP}^3 + \beta_4 \text{DAP}^2 \text{H} + \beta_5 \text{H} + \varepsilon$	Meyer

Y= biomassa da árvore; β_i = coeficientes dos modelos; H = altura total da árvore em m; dap = diâmetro à altura de 1,30 m em cm; Ln = Logaritmo neperiano; ε = erro aleatório; *=não encontrado na literatura.

A seleção dos melhores modelos foi realizada com base nos critérios estatísticos Coeficiente de determinação (R^2), Erro padrão da estimativa (Syx), Logaritmo da máxima verossimilhança (LMV) e Critério de informação de Akaike (AIC), que foram considerados em conjunto para calcular o valor ponderado dos escores estatísticos (VP) de cada equação testada. Para isso, foram atribuídos pesos aos critérios estatísticos e ordenados de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para o modelo mais eficiente, 2 para o segundo e assim sucessivamente, de acordo com a metodologia empregada por Azevedo et al. (2011). Após a classificação individual, a pontuação de cada modelo foi somada, sendo selecionados os quatro modelos com menor VP, tanto para biomassa quanto para carbono. No caso de VP coincidente entre modelos, o R^2 foi considerado como critério de desempate.

O R^2 expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Como R^2 cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, a comparação de diferentes equações de regressão múltipla foi feita com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) (SCOLFORO, 1993). Quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 , melhor será o ajuste.

O S_{yx} mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha da regressão. Ele indica a precisão do ajuste de um modelo matemático, informando o quanto o modelo erra, em média, ao estimar a variável dependente. Assim, quanto menor o S_{yx} melhores serão as estimativas obtidas com a equação (MACHADO et al., 2008).

Nos modelos em que a variável dependente sofreu modificação logarítmica, foi utilizado o fator de correção de Meyer para corrigir a discrepância logarítmica dos valores. O erro padrão também foi corrigido na escala original, para possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Desse modo, multiplicou-se a biomassa ou carbono estimado pelo fator de correção de Meyer para então recalculá-lo o S_{yx} (Equação 1).

$$FM = e^{0,5 \cdot S_{yx}^2} \quad (1)$$

Em que:

S_{yx} = erro padrão da estimativa (m^3);

$e = 2,718281828$.

O LMV, que representa o valor numérico do logaritmo da função de máxima verossimilhança, é utilizado como critério para indicar o grau de ajustamento dos modelos por possuir poder para discriminar ajustes que os demais testes fracassam em apontar (SHAPIRO E BRAIN, 1981). O LMV é obtido pela expressão (2) e quanto maior o seu valor melhor é o ajuste obtido.

$$LMV = \frac{\sum(\varepsilon)^2}{n} \quad (2)$$

Em que:

LMV = logaritmo da máxima verossimilhança;

ε = erro residual

n = tamanho da amostra

O AIC oferece uma medida relativa das informações perdidas, quando um determinado modelo é usado para descrever a realidade. Os modelos com menores valores de AIC serão considerados os melhores. Os valores de AIC são calculados utilizando a expressão (3):

$$AIC = n \ln(LMV) + 2K \quad (3)$$

Em que:

LMV = logaritmo da máxima verossimilhança;

K = número de parâmetros;

n = tamanho da amostra

Os modelos selecionados com base no VP foram analisados quanto à distribuição gráfica dos resíduos, com propósito de verificar tendências na estimativa da variável dependente (biomassa ou carbono).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estoques de Biomassa e de Carbono

A quantificação dos estoques de biomassa distribuídos nos diferentes compartimentos das árvores mostrou maior participação do fuste, que representou 56,2% da parte aérea da árvore, seguido da casca (21,1%), galhos (16,4%) e acículas (6,0%) (Tabela 3). Esse mesmo padrão de distribuição foi verificado por Wojciechowski et al. (2003), em povoamento de *Pinus elliottii* Engelman com 19 anos de idade, em Santa Maria (RS): 77% (Fuste), 11% (Casca), 7% (Galhos) e 4% (Acículas) da biomassa área.

Para *Pinus taeda* L. em plantio homogêneo com 21 anos de idade no Estado do Paraná, Watzlawick et al. (2005) verificaram distribuição de biomassa na seguinte ordem: Fuste (68,5%) > Galhos (16,3%) > Casca (12,2%) > Acículas (2,9%). De acordo com Pedrosa et al. (2013), a distribuição de biomassa nos diversos órgãos da planta pode variar entre espécies, dentro de uma mesma espécie ou em razão de variações nas condições ambientais.

O total de biomassa seca do povoamento, aproximadamente 59 Mg ha⁻¹ (Tabela 3), que corresponde a cerca de 52,9 kg por árvore, foi inferior ao encontrado por Corrêa & Bellote (2011) em povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com idade 10 anos e estabelecidos em espaçamento 2,7 m x 1,85 m no Estado de São Paulo (cerca de 264 Mg ha⁻¹ e 132 kg por árvore). Resultado também superior ao do presente estudo foi observado por Balbinot et al. (2003) em plantios de *Pinus taeda* com cerca de 5 anos no Rio Grande do Sul (33 Mg ha⁻¹).

Tabela 3. Estoques de biomassa seca e de carbono orgânico e participação de cada compartimento da parte aérea na composição da biomassa total de *Pinus caribaea*

Compartimento	Biomassa		Carbono	
	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%
Acículas	3,54	6,03	1,70	4,73
Galhos	9,65	16,41	4,84	13,46
Casca	12,38	21,05	5,99	16,66
Fuste	33,23	56,21	23,44	65,15
Total	58,81	100,00	35,98	100,00

O estoque de carbono presente na biomassa arbórea totalizou aproximadamente 36,0 Mg ha⁻¹, verificando-se maior participação do fuste (23,4 Mg ha⁻¹), que representou cerca de 65% de todo o carbono fixado na biomassa. Depois do fuste, a maior contribuição para o estoque de carbono foi representada pela casca (21,05%), seguida

pelos galhos (16,41%) e acículas (6,03%). De acordo com Kuzyarov & Domanski (2000), o fuste é o compartimento mais representativo em armazenamento de carbono, pois representa o principal reservatório da planta.

Balbinot et al. (2008) observaram total de carbono fixado superior ao encontrado no presente estudo, em plantações de *Pinus* spp. com idades entre 5 e 15 anos no sul do Estado do Paraná (75,6 Mg ha⁻¹). De forma semelhante, Watzlawick et al. (2013), em povoamento de *Pinus taeda* com 14 anos de idade, observaram estoque de carbono de 61,9 Mg ha⁻¹.

Teores e estoques de carbono por compartimento

Os teores médios de carbono para a espécie analisada variaram entre 51,22%, para o fuste, e 48,80%, para as acículas (Tabela 4). O coeficiente de variação, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos indicam que houve diferenças entre as amostras analisadas. A maior variação foi observada nas acículas, enquanto a menor ocorreu nos galhos. Os demais compartimentos apresentaram variação intermediária, com coeficientes de variação de 1,97% (casca) e 1,81% (fuste) (Tabela 4).

Tabela 4. Amplitude e variação dos teores de carbono nos diferentes compartimentos das árvores

Compartimento	Teores de carbono				
	Média (%)	Desvio Padrão	CV (%)	Máximo	Mínimo
Folhas	48,80	1,16	2,39	51,8	46,11
Galhos	50,16	0,57	1,13	51,41	49,12
Casca	49,58	0,98	1,97	51,33	48,09
Fuste	51,22	0,93	1,81	52,9	49,86

O teor médio de carbono (49,94%), considerando todos os compartimentos, é muito próximo ao valor *default* sugerido pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2006), o que indica coerência na utilização do valor de referência de

50% em projetos de créditos de carbono. Todavia, na literatura são encontrados diversos outros trabalhos onde se verifica a ocorrência de teores médios ponderados de carbono superiores ou inferiores a 50%, como Sette Junior et al. (2006) (55%), em povoamentos de *Pinus taeda*, Vieira et al. (2009) (42%), em indivíduos de *Nectandra grandiflora* Nees; Torres et al. (2013) (47%), em Floresta Estacional.

Modelos para estimativa de biomassa

Os modelos testados apresentaram R^2_{aj} variando de 70,55 a 89,67 % (Tabela 5). Os valores obtidos para este parâmetro revelam que sete modelos obtiveram bom desempenho, variando entre 83 e 90%. O maior valor de R^2_{aj} foi encontrado no modelo 10 (Schumacher-Hall logaritimizado) (89,7%), enquanto o menor valor ocorreu no modelo 12 (70,6%).

Tabela 5. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos para estimativa da biomassa total seca das árvores.

Modelo	$\beta_0^{(1)}$	β_1	β_2	β_3	β_4	R^2_{aj}	S_{yx}	LMV	AIC	VP
						%	%			
1	-2,47	2,51				86,21	29,41	5,32	-8,63	21
2	5,87	-24,05				87,58	31,28	5,56	-9,11	16
3	11,90	-2,85	0,47			79,87	28,90	5,29	-6,59	32
4	-49,17	8,31				75,69	30,86	5,48	-6,96	32
5	-154,43	45,69	-3,85	0,12		83,61	26,88	5,09	-4,17	32
6	79,61	-4,27	0,35			79,61	28,27	5,31	-8,61	26
7	5,19	0,03				83,34	25,55	5,10	-8,21	23
8	-17,36	0,09	0,02	2,37		83,95	26,60	5,07	-4,13	32
9	-4,02	1,83	1,36			89,67	27,48	5,18	-6,36	25
10	-55,88	12,50				73,92	31,97	5,55	-9,10	29
11	-72,61	6,41	4,28			78,96	29,55	5,34	-6,67	32
12	-208,99	62,07	45,86			70,55	34,96	5,67	-7,35	33
13	-161,18	14,65	-0,11	-2,99	0,10	86,21	26,36	4,91	0,17	31

⁽¹⁾ β_n = coeficientes de regressão; $R^2_{aj(\%)}$ = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; S_{yx} (%) = erro padrão da estimativa percentual; LMV =logaritmo da máxima verossimilhança; AIC = Critério de Akaike.

Para o erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx\%}$), os valores estiveram entre 26,6 a 35,0% (tabela 5). Dos modelos testados, cinco apresentaram valores inferiores a 28%. O modelo 7 (modelo de Spurr) apresentou o menor valor para este parâmetro (25,55%), o que indica maior eficiência na estimativa de biomassa total. Giongo et al.(2011), estudando biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* Engelm. aos 23 anos de idade, também encontraram melhor resultado de $S_{yx\%}$ para o mesmo modelo.

Segundo Scolforo (1998), o baixo desempenho da maior parte dos modelos pode estar atribuído à baixa correlação simples entre a variável dependente e a variável independente nesses ajustes, resultando, conseqüentemente, em baixos valores para o coeficiente de determinação das equações ajustadas e um maior erro. A ampla heterogeneidade do povoamento estudado, sem ocorrência de práticas silviculturais, como a desrama e o desbaste pode ter favorecido uma menor correlação entre as variáveis consideradas.

De modo geral, com base nos valores de R^2 e de S_{yx} , verificou-se melhor ajustamento tanto de modelos que utilizaram apenas DAP quanto de modelos que empregaram DAP e altura como variáveis independentes. Higuchi et al. (1998) citam que modelos de equações alométricas, com apenas uma variável independente (DAP) podem apresentar resultados tão consistentes quanto os modelos que utilizam também a altura (h). No entanto, de acordo com Santos (1996), equações de biomassa que consideram tanto o diâmetro quanto a altura costumam produzir estimativas mais precisas do que equações que utilizam apenas o diâmetro, por causa da informação adicional fornecida pelo conhecimento da altura.

Com relação ao logaritmo da máxima verossimilhança (LMV) e critério de Akaike (AIC), os modelos 2 e 12 se destacaram, o primeiro por apresentar o menor valor de AIC (-9,1) e o segundo por apresentar maior de LMV (5,67) (Tabela 5).

De acordo com o conjunto das estatísticas de ajuste consideradas, que definiu os valores ponderados (VP) das equações testadas, os modelos 1, 2, 7 e 9 (Modelos de Stoffels, Curtis, Spurr e Schumacher-Hall Log, respectivamente) foram os mais satisfatórios para estimar a biomassa total.

Os modelos de Curtis e de Stoffels, que estimam a biomassa apenas em função do DAP, foram os que apresentaram os menores valores de VP (Tabela 5). Como a determinação da altura das árvores é uma operação onerosa e sujeita a erros (COUTO e BASTOS, 1987), a avaliação da precisão desse tipo de modelo é relevante, pois pode representar redução de tempo e custos das operações de campo.

A Figura 1 ilustra a distribuição gráfica dos valores de biomassa observados *versus* estimados pelos quatro modelos selecionados com base no VP. De modo geral, a distribuição não demonstrou tendências evidentes ao longo da linha de regressão, o que sugere que as estatísticas utilizadas nos testes de validação podem favorecer uma seleção adequada de modelos apropriados para a estimativa da variável biomassa em função da altura e DAP ou apenas do DAP.

O comportamento da dispersão gráfica foi muito semelhante entre os modelos, verificando-se proximidade entre a biomassa observada e a biomassa estimada, embora os de Curtis e de Schumacher-Hall Log tenham apresentado dispersão levemente menor da biomassa em relação à linha de tendência, o que sugere um maior desempenho desses modelos.

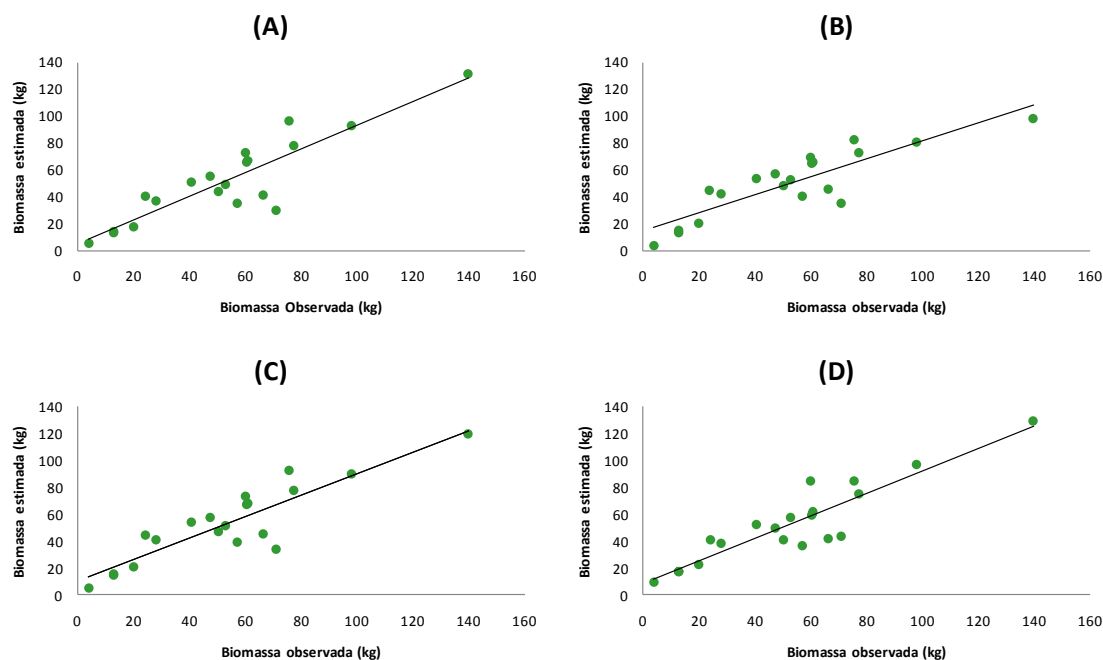


Figura 1. Biomassa observada e estimada a partir dos modelos de Stoffels (A), Curtis (B), Spurr (C) e Schumacher-Hall Log (D).

Modelos para estimativa de Carbono

Considerando o R^2_{aj} %, as equações testadas apresentaram desempenho variando entre 71 e 89% (Tabela 6). O maior valor para este parâmetro foi encontrado no modelo 9 (Schumacher-Hall logaritimizado) (89,43%), seguido dos modelos 2 (87,44%) e 13(86,58%). Apenas quatro dos modelos testados para estimativa do carbono apresentaram R^2_{aj} % abaixo de 80%.

O erro padrão da estimativa (S_{yx} %) variou entre 24,87 e 34,34% (Tabela 6). Com base nesta estatística, o modelo 4 foi o que propiciou melhor ajuste, apresentando menor valor (24,87%). O maior valor de S_{yx} % esteve associado ao modelo 12 (34,34%), que apresentou o menor R^2_{aj} % (70,61%).

Para o LMV, maior desempenho foi verificado nos modelos 12 e 2, com valores de 4,65 e de 4,52, respectivamente (Tabela 6). Já para o AIC obteve-se maior eficiência nos modelos 2 (-7,04) e 10 (-7,00).

Tabela 6. Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos para estimativa de carbono total das árvores.

Modelo	$\beta_0^{(1)}$	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2_{aj}	S_{yx}	LMV	AIC	VP
							%	%			
1	-2,71	2,42					86,58	27,54	4,22	-6,44	23
2	5,31	-23,08					87,44	30,43	4,52	-7,04	16
3	8,06	-1,83	0,29				81,13	27,51	4,21	-4,42	31
4	-29,47	5,04					76,77	29,67	4,42	-4,84	32
5	-90,56	26,95	-2,27	0,07			84,77	25,48	4,00	-2,00	31
6	-2,29	0,21					80,83	26,95	4,23	-6,46	24
7	3,60	0,02					83,68	24,87	4,07	-6,13	23
8	-8,35	0,07	0,01	1,17			84,14	26,17	4,04	-2,08	33
9	-4,07	1,83	1,18				89,43	26,01	4,12	-4,24	24
10	-33,53	7,57					74,94	30,81	4,50	-7,00	29
11	-41,48	4,06	2,19				79,14	28,93	4,31	-4,62	33
12	-120,95	39,85	23,20				70,61	34,34	4,65	-5,31	33
13	-99,30	9,43	-0,06	-1,89	0,06	16,00	86,58	25,57	3,87	2,26	32

⁽¹⁾ β_n = coeficientes de regressão; $R^2_{aj(\%)}$ = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; $S_{yx}(\%)$ = erro padrão da estimativa percentual; LMV =logaritmo da máxima verossimilhança; AIC = Critério de Akaike.

De forma semelhante aos modelos selecionados para biomassa, de acordo com o VP, os modelos mais satisfatórios para estimar o carbono da biomassa total foram: 1, 2, 7 e 9.

Assim como para biomassa, também foi possível notar semelhança entre os modelos selecionados para carbono (Figura 2), que representaram bem a distribuição real. Todavia, pôde-se observar que, em geral, os modelos de Curtis e de Schumacher-Hall Log geraram valores de carbono mais bem aderidos a linha de tendência, o que sugere que esses modelos seriam os mais satisfatórios.

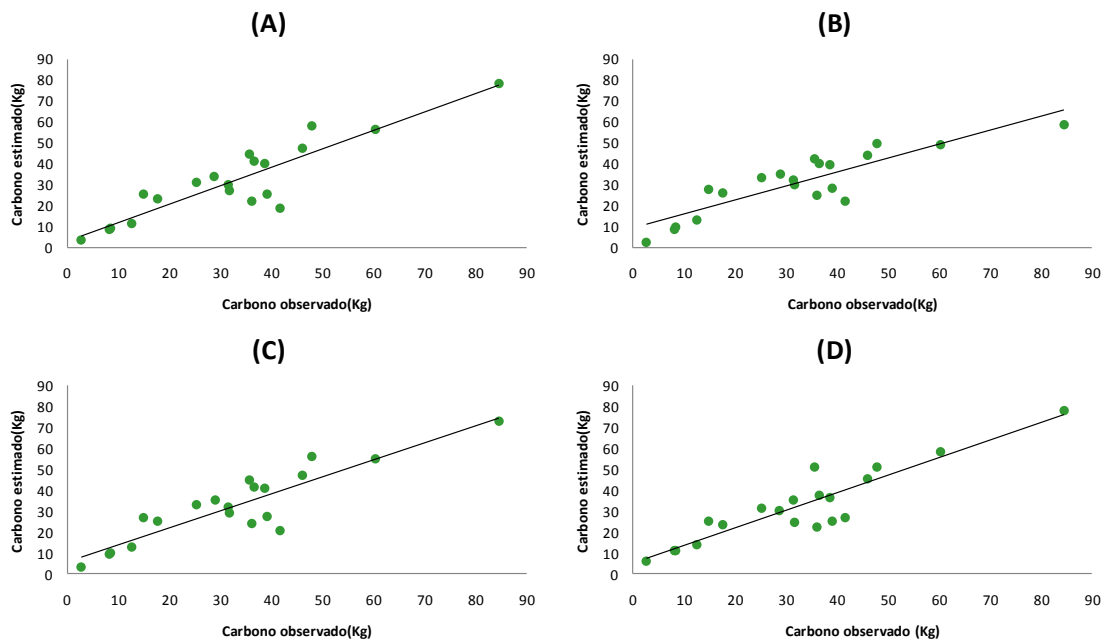


Figura 2. Carbono observado e estimado a partir dos modelos de Stoffels (A), Curtis (B), Spurr (C) e Schumacher-Hall Log (D).

Conclusão

1. A biomassa seca dos diferentes compartimentos da parte aérea das árvores mostrou maior participação do fuste, seguido da casca, galhos e acículas.
2. Os estoques de biomassa total e de carbono do povoamento são estimados em 59 e 36 Mg há⁻¹, respectivamente.
3. Os modelos de Curtis, Schumacher-Hall Log, Stoffels e Spurr são recomendados para a estimativa da biomassa seca total e de carbono de *Pinus caribaea* var *hondurensis* nas condições estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, G.B.; SOUSA, G.T.O.; BARRETO, P.A.B.; CONCEIÇÃO JUNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.68, p.309-318, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). 2004. **Florestas Plantadas: Superfície e Principais Espécies**. Disponível em <http://www.abraflor.org.br/documentos/folder_Abraf.pdf>. Acesso em 30/08/2013.

BALBINOT, R.; VALÉRIO, A.F.; SANQUETTA, C.R.; CALDEIRA, M.V.W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no Sul do Estado do Paraná, floresta, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. *Revista de Ciências Exatas e Naturais*, Guarapuava, v.5, p. 59-68, 2003.

CORRÊA, R.S.; BELLOTE, A.F.J. Influência do solo na dimensão dos traqueídeos e densidades da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, n.66, p.93-102, 2011.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. **Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de Eucalyptus no Estado de São Paulo**. IPEF, n.37, p.33-44,1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERNANDES, E.C.M. Agroforestry for productive and sustainable landscapes in the face of global change. In: GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; GAMARODRIGUES, E.F.; FREITAS, M.S.M.; VIANA, A.P.; JASMIN, J.M.; MARCIANO, C.R. & CARNEIRO, J.G.A., eds. **Sistemas agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p.15-31.

GARDNER, R. H.; MANKIN, J. B. Analysis of biomass allocation in Forest ecosystems of IBP. In: REICHLE, D. E. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Malta: Cambridge University, 1981. p. 451-497.

GIONGO, M.; SILVA, D.B.; KOEHLER, H.S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* engelm, aos 23 anos de idade. **Jornal Biotecnologia Biodiversidade**. v. 2, N.3: p. 81-86, Agosto. 2011.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G. La biomassa y la estructura mineral de algunos bosques de Darién, Panamá. **Turrialba**, San Jose, Costa Rica, v. 21, n. 2, p. 189-196, 1971.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, p. 153-165, 1998.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use**. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, v.4, 2006.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [S.l.: s.n.], 2002. p. 251-264.

KUZYAROV, Y.; DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. Review. **Jornaul of Plant Nutrition and Soil Science**. 163: p.421-431, 2000.

MACHADO, S. A.; PROFUMO AGUIAR, L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* benth. na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v.32, n.3, p.465-478, 2008.

MELO, L. C.; SANQUETTA, C.R.; CORTE, A.P.D.; HENTZ, A. M.K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. UFPR, **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p.21-29, Curitiba, 2014.

PAULO, J. A.; TOMÉ, M. **Equações para estimação do volume e biomassa de duas espécies de carvalhos: Quercus suber e Quercus ilex**. Publicações GIMREF. RC1/2006. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 21 pp, 2006.

PEDROSA, T. D.; MASCARENHAS, A. R. P.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Estimativa da biomassa em um plantio de *Eucalyptus grandis* na região Centro-Oeste. **Acta Scientiarum**, vol. 9, n. 5, 2013.

RAVINDRANATH, N.H.; OSTWALD M. **Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Round wood Production Projects**. Advances in global change research: Volume 29. Dordrecht: Springer,2008.p.107

SANQUETTA, C.R.; ; R.; CORTE, A. P. D.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M.A. B. Proposta metodológica para quantificação e monitoramento do carbono estocado em florestas plantadas. In: SANQUETTA, C.R.; Zilliotto, M.A. B. **Mercado de carbono: Mercado e ciência**. Curitiba: 2004. P.120-150.

- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002, p. 119-140.
- SANTOS, J. DOS. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira**. 121 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, M. G., 1996.
- SCOLFORO, J.R. **Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras, ESALQ/FAEPE, 1993.292p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. v.1.443p.
- SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N.; GEROMINI, M. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na Região de Rio Negrinho, SC. **Revista Floresta**, 2006.
- SHAPIRO, S. S.; BRAIN, C. W. A review of distributional testing procedure and development of a censored sample distributional test. In: **Statistical distribution in scientific work**, v.5, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co. 1981.
- TORRES, C.M.M.E.; JACOVINE, L.A.G.; SOARES, C.P.B.; NETO, S. N.O.; SANTOS, R.D. Quantificação de Biomassa e Estocagem de Carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no parque tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.647-655, 2013.
- VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; BARBEIRO, L. DA S. S. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* Nees (Canela-amarela). **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 547-554, jul./set. 2009.
- WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p.7-17, 2005.
- WATZLAWICK, L.F.; KOEHLER, H. S.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite ikonos ii. **Ciência e Natura**, UFSM, p. 45 – 60, 2006.
- WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R.; TRAUTENMULLER, J.W. Aboveground stock of biomass and organic carbon in stands of *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 509-515, jul./set. 2013.
- WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M. V.; SILVA, P. A.; KRIEGER, J.; FONTONELLI, M.; GOULART, M. C.; CALEGARI, L.; ALBERTI, L. F.; MACHADO, A. A. Biomassa em uma floresta de *Pinus elliottii* Engelman aos 19 anos de idade, em Santa Maria, RS. In: **9º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul**, 2003, Nova Prata. 9º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, 2003.

Diretrizes para Autores – PESQUISA FLORESTAL BRASILEIRA

Forma e preparação de manuscritos

Folha de identificação: arquivo a parte, contendo título, nome(s) completo(s) do(s) autor(es), endereço(s) institucional(is) e eletrônico(s).

- Grafar os nomes dos autores com letra inicial maiúscula, por extenso, separados por vírgula.
- O último sobrenome de cada autor deve ser seguido de número em algarismo arábico, em forma de expoente, correspondente à chamada de endereço do autor.
- Os endereços dos autores são apresentados abaixo dos nomes, contendo nome e endereço postal completos da instituição e o endereço eletrônico do autor.
- Autores de mesma instituição devem ser agrupados, com os respectivos endereços eletrônicos separados por ponto e vírgula.

Arquivo do manuscrito: sem identificação dos autores, deve ser digitado em editor eletrônico de texto, **espaço duplo**, fonte Times New Roman, tamanho 12, folha formato A4 (margens 2,5 cm), seguindo a estrutura conforme o formato optado:

Artigo científico

- **Corpo do texto:** máximo de 25 páginas, incluindo-se as ilustrações (tabelas e figuras) e contendo, preferencialmente, os seguintes itens, nessa ordem: Título, Resumo, Termos para indexação, Título em inglês, Abstract, Index terms,

Introdução, Material e Métodos, Resultados e discussão, Conclusões, Agradecimentos, Referências, todos em negrito e com iniciais em maiúsculo.

- **Título:** 15 palavras no máximo, em letras minúsculas. Não deve conter nome científico, exceto de espécies pouco conhecidas; neste caso, apresentar somente o nome binário.
- **Resumo e Abstract:** máximo de 200 palavras; o Abstract deve ser a tradução fiel do Resumo.
- **Termos para indexação:** mínimo três e máximo seis.
- **Conclusões:** frases curtas, elaboradas com base nos objetivos do artigo, com o verbo no presente do indicativo e evitando citações.
- **Referências:** de acordo com a NBR 6023 da ABNT; em ordem alfabética dos nomes dos autores.