

Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 220

Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal

Edilson Batista de Oliveira
Nelson Yoshihiro Nakajima
Manyu Chang
Miguel Haliski

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

sac@cnpf.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Antonio Aparecido
Carpanezi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz
de Queiroz, Guilherme Schnell e Schuhli, Luís Cláudio Maranhão
Froufe, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Mauro Marcelo Berté

Foto da capa: Paulo Eduardo Telles dos Santos

1ª edição

Versão digital (2011)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal [recurso eletrônico] / Edilson Batista de Oliveira ... [et al.].
Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2011.
(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 220)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc220.pdf>>

Título da página da Web (acesso em 22 ago. 2011)

1. Produção florestal. 2. Rentabilidade econômica. 3. Carbono. 4. Software. 5. Plantio florestal I. Oliveira, Edilson Batista de. II. Nakajima, Nelson Yoshihiro. III. Chang, Manyu. IV. Haliski, Miguel. V. Série.

CDD 634.928 (21. ed.)

© Embrapa 2011

Autores

Edilson Batista de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
edilson@cnpf.embrapa.br

Nelson Yoshihiro Nakajima

Engenheiro Florestal, Doutor
Professor da Universidade Federal do Paraná
nelson.nakajima@ufpr.br

Manyu Chang

Economista
IVIG (Instituto Virtual de Mudança Global)/
COPPE-UFRJ
manyu@ivig.coppe.ufrj.br

Miguel Haliski

Administrador de Empresas, Especialista
Analista da Embrapa Florestas
miguel@cnpf.embrapa.br

Apresentação

O cultivo de árvores com finalidade comercial vem aumentando significativamente em propriedades rurais com tradição agropecuária. A expansão ocorre principalmente devido a programas de fomento das empresas florestais e pela busca de diversificação no empreendimento rural, especialmente com a possibilidade de uso de áreas com pouca aptidão para culturas agrícolas e integração com lavoura e pecuária nos sistemas de ILPF.

Tolerância a variações climáticas como ocorrência de geadas e períodos prolongados de seca, bem como a flexibilidade na escolha de quando colher a madeira contribuíram para que o plantio florestal recebesse o termo “poupança verde” à qual o produtor pode administrar recorrendo na época que desejar.

O presente trabalho visa subsidiar profissionais que necessitam quantificar a produção de madeira e o retorno econômico das plantações florestais, bem como estimar o carbono sequestrado pelas árvores.

Ivar Wendling

Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento

Sumário

Introdução.....	9
Cálculo de volumes comerciais.....	10
Volume de madeira empilhada	11
Cálculo do volume sólido de uma tora.....	11
Conversão de estéreos para volume em metros cúbicos	13
Pesagem da madeira.....	13
Equações de volume e de sortimento.....	14
Equações de volume.....	15
Equações de sortimento.....	15
Volume estimado aplicando programas de computador	17
Preços e comercialização da madeira	20
Análise econômica usando o software Planin	23
Valor Futuro (VF) e Valor Presente (VP)	23
Valor presente líquido (VPL) e valor presente líquido anualizado (VPLA)	24
Taxa interna de retorno (TIR)	24
Razão benefício/custo (B/C).....	24
Serviço do carbono florestal	27
O mercado de carbono	28
Carbono florestal	28
Padrões de carbono voluntário.....	30
Neutralização de carbono	32
Quantificação do estoque de carbono sequestrado pelas árvores..	33
Considerações finais	35
Literatura consultada	36

Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal

Edilson Batista de Oliveira

Nelson Yoshihiro Nakajima

Manyu Chang

Miguel Haliski

Introdução

O cultivo de espécies florestais, como atividade adicional a lavouras e pastagens, tem se expandido nas propriedades rurais. Estes cultivos buscam diversificar as atividades, viabilizar economicamente algumas áreas não utilizadas, mas destaca-se o espaço que vêm ganhando nos sistemas de Integração lavoura pecuária floresta (ILPF).

Por se tratar de atividade pouco conhecida, os agricultores costumam ter perdas significativas na hora de comercializar sua produção. Estas perdas decorrem principalmente pela dificuldade na avaliação quantitativa e qualitativa do volume de madeira disponível. Estas dificuldades se agravam com o afastamento dos locais onde os plantios estão concentrados e há poucos técnicos especializados, ou seja, quando estão longe das grandes empresas e entornos com incentivo ao fomento.

Órgãos como Ater ´s (Empresas de assistência técnica rural), institutos ambientais, cooperativas, secretarias municipais, sindicatos e associações, com tradição em agropecuária, vêm mostrando preocupação em dar assistência técnica e auxiliar na

implementação de ações de incentivo ao plantio de florestas, tanto com finalidades ambientais como comerciais.

Por outro lado, as práticas que refletem em baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) ou no seu sequestro por meio da produção de biomassa passaram a fazer parte da pauta do agronegócio com a Lei Nº 12.187, de 29 de Dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Esta lei estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para redução dos GEEs e abriu uma série de perspectivas de rentabilidade adicional com as plantações florestais. Esta renda é decorrente de valores que podem ser pagos pelos créditos provenientes do carbono sequestrado pelas árvores. Ademais, como forma de estimular a adoção de atividades que reduzem a emissão de GEE, o Governo disponibilizou fontes específicas de financiamentos ou facilidade de colocação de produtos no mercado.

No presente trabalho são apresentadas instruções básicas sobre como quantificar a produção de madeira de uma plantação florestal, envolvendo também a estimativa do carbono sequestrado pelas árvores e análise econômico-financeira. Serão abordados métodos simples e acessíveis, suficientes para subsidiar o produtor no trabalho de valorar sua produção. Também é feita uma breve apresentação do mercado de carbono, tanto do regulado pelo Protocolo de Kyoto quanto do mercado voluntário e os seus vários padrões existentes para a medição do carbono, em específico do carbono florestal. Em suma, demonstra-se que a renda do produtor florestal pode ser constituída não só da madeira produzida, mas também do serviço do carbono.

Cálculo de volumes comerciais

Existem diversos métodos e técnicas para quantificar a produção de madeira de plantações florestais. Por meio deles são

calculados o volume de madeira empilhada (estere – st) ou o volume sólido (metros cúbicos - m^3). Os métodos diretos utilizam medições de toras individuais ou empilhadas. Os métodos indiretos aplicam técnicas como fator de forma, equações de volume e funções de sortimento.

Volume de madeira empilhada.

Devido a sua simplicidade, o volume de madeira empilhada é mais usado para produtos com pequenas dimensões, como toretes destinados à celulose e papel, aglomerados e energia. Para o seu cálculo, a madeira deve ser empilhada como na Figura 1. O resultado da multiplicação do comprimento (C) pela largura (L) e pela altura (H) da pilha, todos medidos em metros, dará o volume da pilha denominado de estere ou estéreo (st).

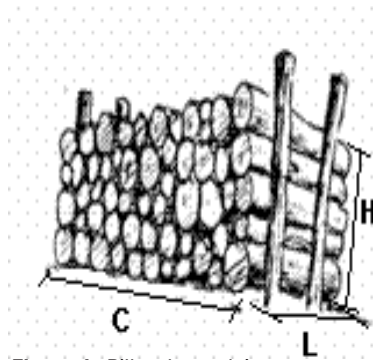


Figura 1. Pilha de madeira.

Assim, considerando uma pilha com 3 m de comprimento (C), 2 m de largura (L) e 1 m de altura (H); teremos 6 metros cúbicos empilhados ou 6 st.

Cálculo do volume sólido de uma tora

Para o cálculo do volume sólido da tora, devido à sua grande dimensão (criando espaços vazios muito grandes), é necessária uma precisão maior procurando-se obter o valor real. Assim, mede-se de preferência o diâmetro " d_i " (ou a circunferência " c_i ")

das duas extremidades da mesma (Figura 2), e com o uso da fórmula "1", calcula-se o volume. O volume total da pilha de toras é a soma dos volumes individuais de todas as toras.

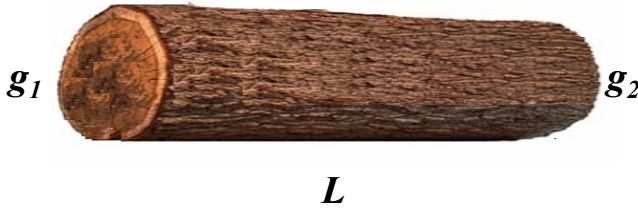


Figura 2. Detalhe de uma tora.

Com o comprimento (L), pode-se calcular o volume pela expressão:

$$v = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) L \quad (1)$$

em que

v = volume de cada torete (m^3)

L = comprimento de cada torete (m)

$$g_1 = 0,7854 \cdot d_1^2 = 0,0796 \cdot c_1^2$$

$$g_2 = 0,7854 \cdot d_2^2 = 0,0796 \cdot c_2^2$$

d_1 e d_2 = diâmetros da base e do topo de cada tora (m)

c_1 e c_2 = circunferência da base e do topo de cada tora (m)

O cálculo pode ser simplificado, medindo-se todos os diâmetros nas duas faces da pilha e aplicando-se a expressão:

$$v_{total} = 0,3927 \cdot L \cdot (D_{lado1}^2 + D_{lado2}^2) \quad (2)$$

em que:

$D_{lado\ 1}^2 + D_{lado\ 2}^2 =$ soma dos diâmetros elevados ao quadrado de todas as toras do lado 1 e do lado 2 da pilha, respectivamente.

Conversão de estéreos para volume em metros cúbicos

A conversão da pilha de toras em estéreos (st) para volume (m^3) se faz dividindo o st por um fator de empilhamento (Fe), que compense os espaços vazios dentro da pilha. O contrário (m^3 para st) é feito pela multiplicação. É comum o uso de valores de Fe entre 1,4 e 1,5 para pinus e eucalipto, indicando que 1 m^3 de madeira sólida teria de 1,4 st a 1,5 st. Os valores do fator de empilhamento podem ser reduzidos para toras com maiores diâmetros e homogêneas, que deixam menos espaços livres dentro da pilha.

Assim, por exemplo, 5 metros estéreos, considerando o Fe de 1,4, seriam 3,57 m^3 reais ($5/1,4 = 3,57$).

Pesagem da madeira

A pesagem da madeira é mais utilizada na venda para indústrias que processam toras finas, de pequeno diâmetro (celulose, chapas, etc.). O peso da carga de madeira é calculado pela diferença entre os resultados das pesagens do caminhão com e sem a carga. Neste caso a indústria paga pelo valor em toneladas.

A conversão de volume para peso apresenta alguns fatores que dificultam este procedimento. Pesar os troncos é um procedimento difícil para um pequeno produtor. Além disso, o teor de umidade dos troncos varia muito. Há ainda a necessidade de se conhecer a densidade da madeira ($g\ cm^{-3}$), que varia de espécie para espécie e, ainda, entre árvores de uma mesma espécie, o valor da densidade da madeira varia principalmente com idade, sitio e grau de competição que a árvore sofre.

Equações de volume e de sortimento

Uma equação de volume ajustada permite estimar o volume total do tronco da árvore sem derrubar a árvore, ou seja, com a floresta “em pé”. Com a equação de sortimento, o volume pode ser estimado por classes de uso, como laminação, serraria, celulose e energia, ou por tipos de tora para atender especificações do mercado (Figura 3). Para aplicá-las, o agricultor deve medir o diâmetro a altura do peito (DAP) e a altura (Figura 3) de todas as árvores de interesse ou de uma amostra representativa. Esta amostra, no caso de plantações florestais comerciais, geralmente possui em torno de 400 m² (20 m x 20 m). O DAP é o diâmetro da árvore medido à altura de 1,3 m em relação ao solo.

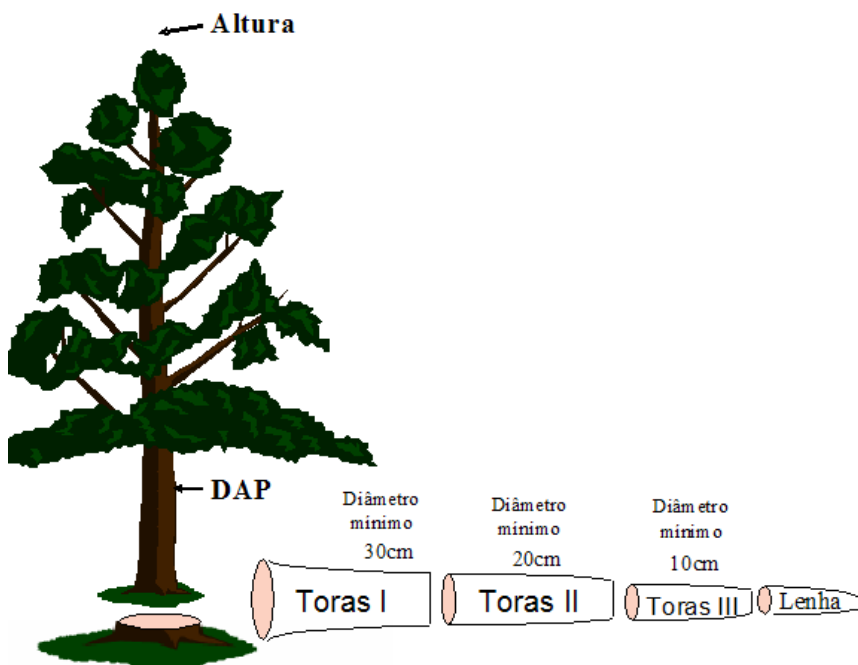


Figura 3. Variáveis da árvore a serem medidas e tronco com sortimento.

Equações de volume

As equações mais simples para estimar o volume de árvores ou de plantações florestais são baseadas no DAP, na altura da árvore (H) e no fator de forma (f). O fator de forma é obtido pela divisão do volume real da árvore pelo volume de um cilindro de diâmetro DAP e comprimento H . Assim, o modelo de uma equação de volume (v) é:

$$v = 0,7854 f \text{ DAP}^2 H \quad (3)$$

Obs. No caso do modelo de equação de volume (3) acima, o DAP deverá ser considerado em metros. Caso a variável utilizada tenha sido centímetros, o resultado da expressão deverá ser dividido por 10.000.

Quanto mais cilíndrico é o tronco, mais próximo de 1,0 é o fator de forma. O fator de forma de uma araucária em idade avançada pode ultrapassar 0,80. Entretanto, em reflorestamentos com pínus ou eucalipto têm sido observados fatores de forma médios de 0,40 a 0,45.

Equações de sortimento

As equações de sortimento (ou funções de afilamento do fuste) descrevem matematicamente o perfil longitudinal de um tronco. Elas permitem construir tabelas de volume para diferentes limites de dimensões de toras impostos pelo mercado. Por meio delas, pode-se calcular, separadamente, o volume para laminação, serraria, celulose e energia, em função de diâmetros e comprimentos especificados para as toras.

O modelo (4) a seguir é muito utilizado quando se trata de plantações florestais:

$$\frac{d_i}{D} = b_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 \quad (4)$$

em que:

$$\frac{d_i}{D} = \text{diâmetro relativo};$$

$$\frac{h_i}{H} = \text{altura relativa};$$

D = DAP = diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo);

H = altura total da árvore;

d_i = diâmetro medido na altura h_i do fuste;

b_1 a b_4 = coeficientes.

No modelo (4) anterior também pode ser utilizado como variável independente $(1 - \frac{h_i}{H})$ em vez de $\frac{h_i}{H}$. Estas duas expressões possuem sentidos opostos no gráfico resultante, mas descrevem o perfil longitudinal de um tronco de forma similar (Figura 4).

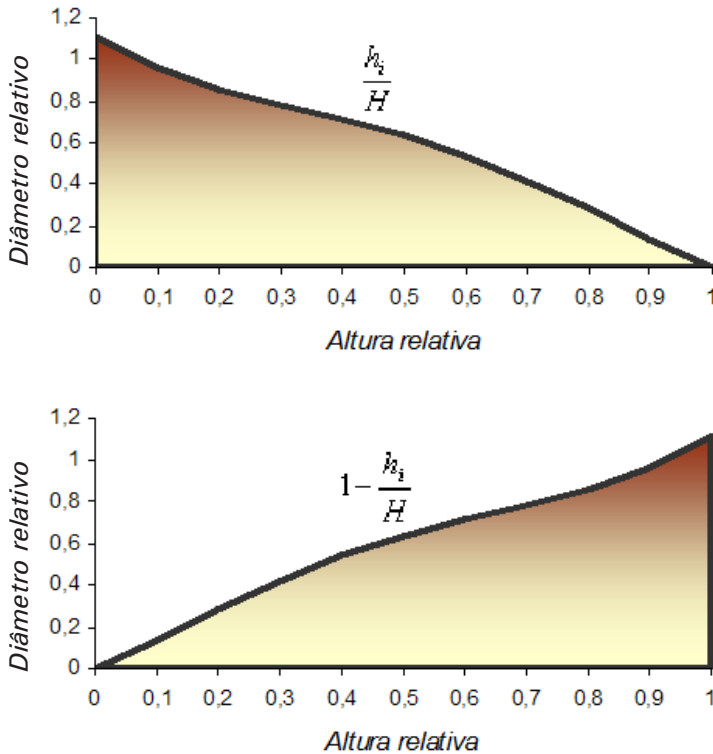


Figura 4. Perfis longitudinais de um tronco utilizando as variáveis $\frac{h_i}{H}$ e $(1 - \frac{h_i}{H})$.

As equações de sortimentos utilizam cálculos de integrais parciais em sua aplicação. Isto torna o processo muito trabalhoso sem o uso de computador. Assim, sua aplicação é realizada utilizando programas desenvolvidos pela Embrapa Florestas e que são disponibilizados para os produtores.

Volume estimado aplicando programas de computador

A Embrapa Florestas desenvolveu programas de computador (softwares) que dão suporte à otimização da produção e renda de plantações de eucalipto, pínus, acácia-negra, araucária, bracatinga e teca. Estes softwares dão suporte às atividades de

manejo envolvendo a definição de idades, tipos e intensidade de desbastes de árvores e indicação da idade ideal da colheita final (corte raso). Eles descrevem como a floresta da espécie envolvida cresce e produz, conforme as opções de manejo que o usuário indica. A denominação dos softwares é “Sis” seguido pelo nome popular da espécie ou gênero (SisEucalipto, SisPinus, etc.). Por meio deles, podem ser simulados desbastes das florestas com previsão do crescimento e produção anual do povoamento florestal, e o sortimento de madeira por classe diamétrica para múltiplos usos das árvores colhidas nos desbastes e no corte final. Eles possibilitam a simulação de desbastes e o teste de qualquer regime de manejo que se deseja aplicar nos povoamentos.

Os softwares calculam o volume (total e por classes de uso) na idade atual da floresta e faz previsões para idades futuras, para a madeira dos desbastes e corte final, seja qual for o manejo empregado. Estes cálculos utilizam equações de volume e de sortimento que estão disponíveis nos próprios programas ou que o usuário pode introduzir.

O Exemplo 1 mostra a utilização do SisPinus com as seguintes equações:

a) **Equação de volume** com um fator de forma (f) igual a 0,45, compatível com a expressão (6), por substituição no modelo (5):

$$v = 0,3534 \cdot DAP^2 \cdot H \quad (5)$$

b) **Equação de sortimento**, baseada no modelo (4):

$$931 \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^2 - 4,5078 \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^3 + 2,7725 \left(1 - \frac{h_i}{H}\right)^4 \quad (6)$$

Considerando uma plantação de pínus cujo inventário aos 8 anos resultou em DAP médio de 17,7 cm, altura dominante média de 19,8 m e média de 1.617 árvores por hectare. Os

desbastes serão realizados aos 8, 12 e 16 anos, deixando, respectivamente, 1.000, 700 e 400 árvores por hectare. A colheita final será aos 20 anos. Os resultados apresentados na Tabela 1 consideram a opção de sortimento para valores de 2,4 m de comprimento para todas as toras, classificando diâmetros maiores que 30 cm como Serraria I, entre 20 cm e 30 cm como Serraria II, 10 cm a 20 cm como celulose e o restante como lenha.

Tabela 1. Resumo de resultados apresentados pelo SisPinus para o Exemplo 1.

Tabela de crescimento e produção

Idade	Altura dominante	Árvores / ha	Diâmetro médio (cm)	Altura média (m)	Área basal (m^3ha^{-1})	Volume Total	Incremento médio anual	tCO ₂
8	12,6	1617	17,7	11,0	39,7	196,4	24,5	172,7
Desbaste de 1 em cada 5 linhas e, depois, mais 294 árvores								
9	14,3	1000	19,8	12,7	30,9	176,2	26,3	152,1
10	15,4	999	21,1	13,6	34,8	213,7	27,4	184,0
11	16,5	997	22,1	14,6	38,4	251,4	28,4	215,6
12	17,5	995	23,1	15,4	41,7	289,1	29,1	247,4
Desbaste de 295 árvores								
13	18,3	700	24,3	16,3	32,3	237,4	29,5	203,2
14	19,2	698	25,1	17,1	34,6	266,2	29,5	226,5
15	20,0	696	25,9	17,8	36,8	294,7	29,4	250,0
16	20,8	694	26,7	18,5	38,8	322,6	29,3	275,0

continua

Desbaste de 294 árvores.

17	21,3	400	28,1	19,3	24,8	215,7	29,3	182,7
18	22,0	400	29,0	19,9	26,3	236,2	28,8	200,4
19	22,7	399	29,8	20,5	27,8	256,6	28,4	217,2
20	23,3	399	30,5	21,1	29,2	276,7	28,0	234,0

Desbastes

Idade	Volume removido	Volume remanescente
8	60,6	135,8
12	85,7	203,4
16	136,7	185,9

Sortimento

Idade de colheita (anos)	Número de árvores	Volume total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Lenha
8	617	60,6	0	0,4	48,0	12,1
12	296	85,7	0	26,5	52,3	6,6
16	295	136,7	2,3	78,8	49,3	6,4
20	399	276,7	61,5	145,5	61,6	8,0

Preços e comercialização da madeira

Os preços dependem diretamente da espécie florestal, do diâmetro, comprimento e qualidade das toras. Os custos com colheita e transporte também interferem na rentabilidade. É recomendável que o produtor se informe dos valores oferecidos em diferentes mercados. Caso tenha acesso, a internet ajuda muito. Sites como www.seab.pr.gov.br, da Secretaria da

Agricultura e do Abastecimento da Paraná, fornecem preços por produto florestal, para diversas localidades. Vários estados têm serviços semelhantes. Normalmente, os órgãos de assistência técnica possuem estes valores e devem ser consultados.

A madeira pode ser comercializada “em pé” ou “colhida”, podendo ser cotada em peso (toneladas), volume empilhado (estere – st) ou o volume sólido (metros cúbicos - m³). A equivalência metros (st ou m³) e peso é comum nos processos de comercialização. Para pínus, é muito usada a relação 1 m³ = 1 Ton.

Considerando os dados de produção do exemplo 1, serão descritos a seguir os procedimentos para o cálculo do valor da madeira de cada desbaste e da colheita final.

Os preços foram obtidos no site da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento da Paraná, para toras “em pé” e posto na “serraria” (Tabela 2).

Tabela 2. Preços de toras de pínus em pé, por metro cúbico.

Finalidade	Diâmetro das toras	Em pé*	Na serraria*
		R\$ por m ³	R\$ por m ³
Serraria I	Mais que 30 cm	80,51	103,41
Serraria II	20 cm a 30 cm	61,70	83,09
Celulose	10 cm a 20 cm	36,31	55,60
Lenha	Menos que 10 cm	15,09	35,72

Média para o Estado do Paraná, em abril de 2010. (www.seab.pr.gov.br).

Multiplicando-se as produções apresentadas pelo **Sortimento** (Tabela 1) pelos valores da Tabela 2, chega-se ao retorno em reais com a produção “em pé” e “na serraria” (Tabela 3) e aos mínimos que deveriam ser pagos sem considerar o sortimento da madeira (Tabela 4).

Tabela 3. Retorno econômico “em pé” e “na serraria” com a venda da madeira com sortimento.

Idade de desbaste	Volume total (m ³ ha ⁻¹)	Valor em pé (R\$)	Valor na serraria (R\$)
8 anos	60,6	1.950	3.134
12 anos	85,7	3.634	5.345
16 anos	136,7	6.934	9.755
20 anos = corte final	276,7	16.286	22.160

Dividindo-se os valores do retorno econômico “em pé” e “na serraria” pelo volume de madeira na idade considerada, serão obtidos os valores mínimos para que o produtor não tenha perdas na venda de sua madeira sem sortimento (ex: R\$1950,00 divididos por 60,6 m³ = R\$32,20 por m³) (Tabela 4).

Tabela 4. Valores por m³ ou por tonelada (relação 1 m³ = 1 ton) da produção total.

Idade de desbaste	Volume total (m ³ ha ⁻¹)	Valor em pé (R\$)	Valor na serraria (R\$)
8 anos	60,6	32,2	51,7
12 anos	85,7	42,4	62,4
16 anos	136,7	50,7	71,4
20 anos = corte final	276,7	58,9	80,1

É comum ocorrerem prejuízos de muitos produtores por venderem madeira “em pé” sem sortimento a preços muito inferiores aos reais com sortimento.

A obtenção de informações sobre crescimento e produção com sortimento e preços da madeira da plantação florestal é fundamental para que os produtores não percam dinheiro e tenham um mínimo de autonomia na comercialização de sua produção de madeira. Estas informações são necessárias principalmente para aqueles produtores que não estão no raio de ação dos programas de fomento das grandes empresas florestais.

O cálculo da produção e renda possibilita ao produtor rural, mesmo sem experiência com a comercialização de madeira, ter uma base concreta para negociar a produção de um desbaste ou corte final a um preço justo, analisando se uma proposta de compra é compensadora ou não. Estes cálculos são fundamentais, também, na elaboração de estratégias de manejo que propiciem maior renda.

A obtenção de maior renda com a classificação da madeira pelo sortimento estimula o produtor na realização de práticas silviculturais, como desbastes no momento adequado, intensidade e podas, visando à obtenção de toras de melhor qualidade.

A falta de informações sobre o valor de mercado dos produtos florestais e o desconhecimento do total produzido impede a realização de cálculos do valor da madeira na hora de vender. Por falta dessas informações, normalmente, o agricultor tende a perguntar ao intermediário *“quanto você me paga?”* deixando a porteira aberta para a intermediação dos atravessadores.

Análise econômica usando o software Planin

Além dos softwares anteriormente descritos para dar suporte ao manejo e cálculo de volumes de madeira, a Embrapa desenvolveu o software Planin, que possibilita a realização de análise econômica da produção florestal. Este software gera parâmetros de análise econômica conforme Oliveira et al. (1999). A maneira de interpretar alguns destes parâmetros será apresentada a seguir de forma resumida.

Valor futuro (VF) e valor presente (VP)

Supondo que o produtor aplique R\$1.000,00, com taxa de atratividade de 10% ao ano, então o VF no prazo de um ano de aplicação será de R\$1.100,00 obtidos pelo acréscimo da taxa de

10%. Este “Valor”, em operação inversa, ou seja, descontando a mesma taxa de 10%, representa hoje o VP de R\$1.000,00.

Valor presente líquido (VPL) e valor presente líquido anualizado (VPLA)

O VPL é o valor obtido pela soma dos VPs de cada receita ou despesa do fluxo de caixa. O VPLA é o valor do VPL convertido em uma série de valores anuais constantes, como se fossem prestações fixas de um financiamento. A somatória dos VPs de todas estas parcelas anuais resulta no VPL do fluxo de caixa.

Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL (valor presente líquido) de um empreendimento. Nesta taxa, o VPL é zero. Este indicador representa a remuneração média do capital ao longo da vida do projeto.

Razão benefício/custo (B/C)

A razão benefício/custo (B/C) de um projeto indica quantas unidades de capital recebido com benefícios (B) são obtidas para cada unidade de capital investido (C). Assim, por exemplo, se o VP dos custos for R\$1.000,00 e o VP das receitas for R\$1500,00, a B/C será 1,5, ou seja, para cada real investido haverá o retorno R\$1,50. Valores menores que 1 indicam que o projeto é inviável com a taxa mínima de atratividade (remuneração do capital) considerada. Se a B/C fosse igual a 1, significaria que as receitas foram iguais aos custos.

Os resultados gerados pela aplicação do software Planin para os valores do Exemplo 1, com os preços de madeira apresentados na Tabela 2 e taxa de atratividade de 8% ao ano, são apresentados na Tabela 5. Os custos de produção considerados somam R\$2.500,00 por hectare, sendo R\$1.500,00 por hectare na implantação, R\$200,00 ha⁻¹ ano⁻¹ na manutenção nos anos 1 e 2, e R\$150,00 ha⁻¹ ano⁻¹ na manutenção nos anos de 3 a 6.

Tabela 5. Fluxo de caixa e parâmetros para análise econômico-financeira gerados pelo Planin para o Exemplo 1. Fluxo de Receitas e Custos para um Ciclo de Produção de 20 anos.

Ano	Receitas (R\$ ha ⁻¹)	Custos (R\$ ha ⁻¹)	Receita presente (R\$ ha ⁻¹)	Custo presente (R\$ ha ⁻¹)
0	0,00	1.500,00	0,00	1.500,00
1	0,00	200,00	0,00	188,68
2	0,00	200,00	0,00	178,00
3	0,00	150,00	0,00	125,94
4	0,00	150,00	0,00	118,81
5	0,00	150,00	0,00	112,09
6	0,00	150,00	0,00	105,74
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1.902,15	0,00	1.193,43	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00
12	3.581,36	0,00	1.779,82	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00
16	6.884,49	0,00	2.710,05	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00
20	16.224,53	0,00	5.058,89	0,00

Parâmetros para análise econômica

Receita total:	R\$28.592,53
Receita total líquida:	R\$26.092,53
Receita total média:	R\$1.361,55
Custo total:	R\$2.500,00
Custo total médio:	R\$119,05
Receita líquida média:	R\$1.242,50
Valor presente da receita:	R\$10.742,20
Valor presente dos custos:	R\$2.329,27
Valor presente líquido:	R\$8.412,93
Valor presente líquido anualizado:	R\$715,14
Razão benefício/custo:	R\$4,61
Taxa interna de retorno:	R\$17,89

A razão benefício/custo (B/C) indica que a madeira rendeu R\$4,61 para cada R\$1,00 investido (R\$3,61 de lucro).

Com a taxa de juros de 8% ao ano, o povoamento florestal gerou um retorno líquido de R\$8.412,93 por ha, dado pelo VPL. A rentabilidade anual, conforme o VPLA foi de R\$715,14 por ha. Caso a taxa de juros fosse 17,89%, referentes à TIR, os resultados de VPL e VPLA seriam zero, ou seja, investindo na floresta ou usando o dinheiro na aplicação que oferece 17,89% o retorno seria o mesmo.

Para a comparação de projetos ou regimes de manejo com idades de corte final diferentes, ao se usar a B/C, o VPL e a TIR, deve-se pressupor a repetibilidade dos ciclos dos fluxos de caixa calculando-se o mínimo múltiplo comum da duração dos ciclos dos diferentes projetos, ou utilizando o VPLA.

Serviço do carbono florestal

O meio ambiente através de seus ecossistemas presta uma série de serviços ambientais para a coletividade, como ar limpo; serviços para as empresas como a disponibilização de água para a geração de hidroeletricidade, para a irrigação de lavouras ou serviços para os indivíduos, como água limpa para saciar a mais fundamental necessidade humana, a sede.

As árvores ou o seu conjunto, a floresta, prestam serviços ambientais particulares de captação de água para a manutenção do equilíbrio do sistema hidrológico. Elas tornam mais amenas os micro-climas regionais e locais, criam as bases para a recuperação e reprodução da biodiversidade, sequestram gás carbônico da atmosfera contribuindo para a redução do aquecimento global, dentre outros benefícios.

A partir do Protocolo de Kyoto, em 1997, estabelecido pela Convenção quadro da mudança do clima das Nações Unidas, foi se consolidando o mercado de carbono, onde os países industrializados (Anexo I) passam a ter obrigações e quotas de redução das emissões de carbono, devendo esses países reduzir as emissões em seus próprios territórios ou trocar direitos de emissão, ou ainda adquirir os créditos de carbono gerados em outros lugares do globo através do mercado de carbono.

Em termos globais, a maioria dos créditos de carbono é oriunda da redução de emissão de fontes que queimam os combustíveis fósseis. Há também outras fontes de emissão como os resíduos, a agricultura, os processos industriais e a mudança do uso do solo. As árvores apresentam uma característica particular de absorver o gás carbônico já emitido na atmosfera. Com o desenvolvimento do mercado de carbono, as árvores passaram a ser valorizadas também pelo serviço do carbono florestal, que passam a ter um valor monetário de mercado pela quantidade de carbono capturado e retido em sua matéria lenhosa.

O mercado de carbono

Atualmente, o mercado de carbono subdivide-se em dois grandes segmentos, o regulado pelo Protocolo de Kyoto (PK), onde os créditos são fundíveis e intercambiáveis entre si e seguem regras rigorosas firmadas no acordo. Neste mercado, os créditos são gerados para atingir metas de redução de emissão obrigatórias dos países desenvolvidos. Neste segmento destacam-se dois principais mecanismos de mercado: o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e o sistema de comércio de emissões da União Européia (EU ETS). Há também, no segmento regulado, alguns mercados nacionais que seguem as mesmas regras como o NSW da Austrália.

Outro segmento é o do mercado voluntário que cresceu bastante na última década. Neste segmento, bem como diz o seu nome, os créditos são comercializados voluntariamente e não há metas obrigatórias. As regras para a geração dos créditos são variadas e, em geral, mais flexíveis, e, portanto, não são fundíveis entre si, tampouco com o mercado regulado pelo PK. Neste segmento, destacam-se alguns mercados com regras menos rígidas como o mercado de carbono de Chicago – CCX e o mercado regional do Reino Unido – UK ETS, entre outros. Nesse segmento há ainda os mercados locais não estruturados, com regras definidas caso a caso, por vezes pouco claras, adaptadas às circunstâncias locais.

Carbono florestal

Para que a atividade florestal possa gerar créditos de carbono, quer para o mercado regulado, quer para o voluntário, é necessário se enquadrar em uma das três modalidades: i) o MDL Florestal do mercado regulado, que prevê o aumento do estoque de carbono através do plantio de árvores que sequestram o gás carbônico já emitido; ii) o mercado de compensação voluntário, que também sequestra o gás carbônico já emitido, neutralizando-o, e iii) desmatamento e degradação evitados

– redução das emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD), e REDD + , que preconiza a manutenção do estoque de carbono na biota e inclui o apoio a atividades que contribuem para a conservação e sustentabilidade florestal. Entretanto, em função da diversidade de situações, estruturas sociais e de interesse dos países que se enquadram ao REDD, a convenção do clima das Nações Unidas ainda não chegou a um consenso em relação às regras gerais para o seu funcionamento. Esta modalidade se encontra em discussão para definição na convenção do clima. Os projetos REDDs em implementação no Brasil e em outras partes do mundo operam ainda de forma piloto.

As regras do MDL são muito rigorosas a fim de se poder assegurar a adicionalidade necessária dos créditos de carbono, mediante os quais, é consentido a uma emissão de terceiros. Somam-se a este rigor, as regras para o MDL florestal que são particularmente mais complexas, por se tratar de uma atividade que lida com seres vivos, cujas condições de crescimento são muito variadas, o que dificulta sobremaneira a medição do carbono. A seguir são apresentadas as etapas para a elaboração de um projeto MDL, as regras e restrições adicionais para um projeto MDL florestal.

Etapas de um projeto MDL:

Estudo de viabilidade;

Elaboração do documento de concepção do projeto (PDD);

Validação (conformidade com a regulamentação);

Consulta pública durante 30 dias;

Aprovação da metodologia pela secretaria executiva ;

Aprovação pela END (contribuição para o DS);

Registro no Conselho Executivo do PK (metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados);

Monitoramento do carbono;

Verificação/certificação;

Emissão de certificado de CO₂ e venda;

Regras adicionais do MDL florestal;

Comprovação da adicionalidade da atividade florestal;

Que a adicionalidade seja mensurável;

Que tenha uma metodologia aprovada pelo PK para a mensuração;

Que tenha um plano de monitoramento e de vazamento do CO₂;

Que não tenha cobertura florestal desde 1990;

Os créditos de carbono florestal têm preço menor no mercado pela não permanência;

As metodologias são mais complexas pela diversidade de condições de desenvolvimento.

Padrões de carbono voluntário

Tendo em vista as dificuldades adicionais do MDL florestal, que se traduz em tempo mais longo para a elaboração e aprovação e custos maiores dos projetos florestais, os projetos menores têm buscado o segmento do mercado voluntário. Ao mesmo tempo, cada vez mais, o cuidado ambiental vem constituindo um

forte componente de competitividade de serviços e produtos. Empresas ambientalmente mais pró-ativas estão incorporando o pagamento do serviço ambiental nas ações da empresa para atender um público consumidor cada vez mais consciente e exigente. O pagamento pelo serviço do carbono pode constituir uma fonte significativa de recursos para produtores florestais.

Desde 2007, o *Voluntary Carbon Standard* (VCS) (padrão de carbono voluntário) tornou-se o primeiro padrão de medição de carbono do mercado voluntário com regras robustas, porém mais flexíveis para projetos de mudança e uso da terra – *Afforestation and Land Use* (AFOLU). Surgiram outros padrões como o *Voluntary Offset Standard* (VOS) e o *Gold Standard* que privilegia o desenvolvimento sustentável, entre outros.

Entre os padrões voluntários que trabalham com o carbono florestal destacam-se: o pioneiro *Voluntary Carbon Standards* (VCS), um dos mais reconhecidos internacionalmente; o *Climate Community and Biodiversity Standard* (CCBS) do Banco Mundial, que privilegia componentes a favor da biodiversidade e da comunidade, o *Sistema Plan Vivo* do México, o *California Climate Action Registry* (CCAR) e o *CarbonFix Standard* (CFS) (DEPULPO, 2009). Todos apresentam regras próprias e bem definidas que se adequam a condições e atividades específicas. Estes padrões reproduzíveis servem como referência dos tipos e a qualidade das ações de sequestro de carbono que o comprador do carbono estaria adquirindo no mercado voluntário. Em função do crescimento do segmento voluntário, as regras têm evoluído no sentido de garantir a credibilidade dos créditos, se assemelhando às etapas do mercado regulado, onde muitos destes padrões também passaram a exigir o cumprimento de etapas que requerem entidades credenciadas para avalizá-las, tornando o processo mais oneroso.

Neutralização de carbono

No segmento voluntário do mercado do carbono, o ponto de partida para a neutralização é a realização de um inventário de emissões da empresa, da instituição ou de um evento, independente do padrão do carbono que o vendedor do carbono segue. Nesse inventário são caracterizadas as emissões de GEE em análise.

O inventário deve se adequar às normas internacionais, sendo o GHG Protocol a mais utilizada. Durante a realização do inventário, todas as fontes de emissão de GEE são identificadas e quantificadas. Essa etapa é o ponto de partida para a adoção de medidas conhecidas como os 3Rs: redução de consumo, reutilização e reciclagem de materiais. Desta forma, o objetivo principal da neutralização deve ser a identificação de possibilidades para tornar o sistema em análise cada vez mais ambientalmente eficiente e economicamente viável. A neutralização é apenas uma compensação provisória do que já foi emitido. Ressalta-se que pelo fato da emissão ser um ato definitivo, para efeito de neutralização de carbono de empresas, o mercado voluntário tem dado preferência a espécies nativas plantadas para esquemas de conservação, uma vez que estas são usualmente mais permanentes.

A partir do inventário e da adoção das medidas dos 3Rs, a quantidade de CO₂ que será neutralizada é definida. Utilizando metodologias aprovadas pela UNFCCC, sigla em inglês para Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, é determinada então a quantidade de árvores necessárias para, durante o seu crescimento, neutralizar o CO₂ emitido. A estimativa de absorção de gás carbônico da atmosfera pelo crescimento das árvores é feita a partir da determinação do estoque de carbono potencial da espécie de árvore ou tipo de floresta que será plantada. Cada espécie de árvore e tipo de floresta possui quantidades diferentes de carbono por indivíduo,

por hectare e por ecossistema, que é proporcional à quantidade, tamanho e composição de suas árvores.

Uma vez determinada a quantidade de árvores adultas para a compensação das emissões, inicia-se a fase de implantação ou alternativamente pode-se comprar o carbono contido em uma determinada quantidade de árvores já plantadas e em crescimento para a neutralização no mercado voluntário. As árvores só poderão ser vendidas para a neutralização de emissão de um e apenas um processo ou período de uma determinada empresa ou evento.

O pagamento do serviço de carbono pode ser feito pela quantidade de carbono sequestrado a preço de mercado do dióxido de carbono no momento da compra. A entidade vendedora deve entregar um certificado de neutralização de carbono com as especificações da quantidade de carbono vendido, da quantidade de árvores plantadas e do local do plantio georreferenciado, disponibilizando em um local público, como uma página na internet, a fim de assegurar a transparência da venda única do lote de carbono.

Quantificação do estoque de carbono sequestrado pelas árvores

Os softwares da série Sis (SisEucalipto, SisAraucária, SisPinus, etc.) auxiliam no cálculo do carbono sequestrado, de espécies comerciais muito conhecidas como a araucária, o eucalipto e o pínus. Estes softwares servem para fazer prognoses e quantificar a biomassa das árvores e do carbono retirado da atmosfera por elas. Renner (2004) e Mello (2004) desenvolveram trabalhos aplicando os softwares para quantificar o carbono sequestrado por reflorestamentos, inserindo os resultados no planejamento da empresa florestal.

Os softwares apresentam a quantificação do carbono baseada em equações publicadas em trabalhos técnico-científicos (Tabela 6). Além disso, o usuário pode aplicar novas equações, principalmente porque a tabela de crescimento e produção apresenta variável como DAP e altura das árvores, que normalmente fazem parte dos modelos.

Tabela 6. Equações utilizadas nos softwares para estimativa de estoques de Carbono.

Software e Espécie	Equações para estimativa de C (tC) Para obter o teor de CO ₂ , multiplica-se tC pelo Fator de Conversão de C para CO ₂ = 3,6667
SisAcacia <i>Acacia mearnsii</i> De Wild	(Vol + 33%).(Biomassa seca: 0,41).(C:0,4248) Baseado em Saidelles et al. (2009)
SisAraucaria <i>Araucária angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	(Vol + 53%).(Biomassa seca: 0,41).(C:0,43) Baseado em Watzlawick et al. (2003)
SisBracatinga <i>Mimosa scabrella</i> Benth	(Vol + 43%).(Biomassa seca: 0,48).(C:0,44) Baseado em Machado et al. (2006)
SisMate <i>Ilex paraguariensis</i> St.Hil.	(20.1255 + 0.8081.I + 3.9672. H + 3.6923.Biomassafolhas). (C:0,45) Alegre et al. (2007)
SisEucalipto <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	(Vol + 25%)x(DB: 0,49)x(C: 0,42) Baseado em Silva (1996) e outros
SisPinus <i>Pinus taeda</i> L.	(0,0001-0,0040.D + 0,0193. D ² H + 0,5728 I).(C:0,41) Corte e Sanquetta (2007)
SisTeca <i>Tectona grandis</i> L.f.	(Vol + 30%)x(DB:0,53)x(C:0,41) Baseado em Rondon (2006), Gouveia e Ângelo (2002)

Vol. = Volume do tronco com casca; C = Teor de Carbono (tC); D = DAP (cm), H = Altura total (m); I = Idade (anos), DB: Densidade Básica.

Um exemplo de aplicação destas expressões foi apresentado na última coluna da Tabela 1 que mostra a quantidade de CO₂ (tCO₂) sequestrada pela plantação de pínus do Exemplo 1.

Considerações finais

Programas de fomento, algumas linhas de crédito e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta vêm servindo de estímulo à inserção do componente florestal nas propriedades de tradição agropecuária. Entretanto, o cultivo de florestas no Brasil ainda não se expande de forma suficiente para atender à demanda que é crescente. Este déficit caracteriza uma oportunidade de investimento que vem despertando muito interesse.

Se por um lado a utilização de mudas provenientes de plantas geneticamente melhoradas vem ganhando espaço, por outro, metodologias de quantificação da produção de madeira e do carbono sequestrado pelas árvores, incorporando análise econômico-financeira, têm sido pouco difundidas e praticamente restritas a grandes empresas florestais.

Por se tratar de atividade muitas vezes nova, são comuns perdas econômicas significativas devido à falta de parâmetros para aplicação de desbastes e colheitas finais em idades adequadas, bem como à quantificação e valoração da produção florestal. Assim, o presente trabalho foi elaborado para atender a produtores e técnicos, descrevendo métodos que possibilitem quantificar e valorar a produção florestal, evitando prejuízos decorrentes de falta de informações técnicas, tanto na definição de regimes de manejo que buscam a maximização da produção e renda, como nas atividades rotineiras de comercialização.

Referências

- ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMÁN, L. J. M.; CORREA, G. **Geração da curva alométrica para avaliar as reservas de carbono em plantios de erva-mate, no Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. (Embrapa Florestas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 33). 1 CD-ROM.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e da outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 249, 30 dez. 2009.
- CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de Pinus na área de domínio da floresta ombrófila mista no Paraná. **Cerne**, Lavras, MG, v. 13, n. 1, p. 32-39, jan./mar. 2007.
- GOUVEIA, V. M.; ÂNGELO, H. Análise econômica do serviço de fixação de e armazenamento de carbono por um povoamento de *Tectona grandis* L. f. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, v. 21, n. 74, 2002.
- MACHADO, S. A.; URBANO, E. Relações quantitativas entre variáveis dendrométricas e teores de carbono para *Mimosa scabrella* Bentham da Região Metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 37-60, jan./jun. 2006.
- MELLO, A. A. **Planejamento de uma empresa florestal considerando a manutenção do estoque de carbono**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- OLIVEIRA, E. B.; MACHADO, S. A.; HOEFLICH, V. A. **Análise econômica de regimes de manejo para florestas de pinus e os softwares Planin e Replan**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 41 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 32)
- RENNER, R. M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RONDON, E. V. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 337-341, 2006.
- SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V. S.; BALBINOT, R. Uso de equações para estimar o carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 907-915, 2009.
- SILVA, H. D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex- maiden)**

em diferentes idades. 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J.; BALBINOT, R.
Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil.
Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

Literatura consultada

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V. BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management:** a quantitative approach. New York: John Willey; Sons, 1983.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration.** 3rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 402 p.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Land use, land-use change, and forestry:** a special report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University, 2000. 377 p.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory.** Munique: BLV Verlagsgesellschaft, 1964. 436 p. v. 1.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba: Edição dos autores, 2003. 309 p.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração florestal II:** volumetria. Lavras, MG: ESAL/FAEPE, 1993. 126 p.

Embrapa

Florestas

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 9458