

FAUSTO ARAÚJO PAIXÃO

**QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO E AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE USO DE UM
POVOAMENTO DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P149p
2004

Paixão, Fausto Araújo, 1975-

Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto / Fausto Araújo Paixão. – Viçosa : UFV, 2004.

x, 50f. : il. ; 29cm

Orientador: Carlos Pedro Boechat Soares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Povoamento - Análise econômica. 2. Eucalipto - Biomassa - Métodos estatísticos. 3. Manejo Florestal. 4. Mensuração florestal. 5. Inventário Florestal. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD adapt. CDD 20.ed. 634.965

FAUSTO ARAÚJO PAIXÃO

**QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO E AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS DE USO DE UM
POVOAMENTO DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 26 de março de 2004.

Prof. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine
(Conselheiro)

Prof. Márcio Lopes da Silva
(Conselheiro)

Prof. Gilson Fernandes da Silvas

Prof. Helio Garcia Leite

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares
(Orientador)

A Deus.

Aos meus pais.

Às minhas irmãs.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Carlos Pedro Boechat Soares, pela orientação e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores Laércio Jacovine, Márcio Lopes e Hélio Garcia Leite, pelos ensinamentos e conselhos ao longo do curso e pela realização deste trabalho.

Ao professor Gilson, pela participação e pelas sugestões no presente trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pela atenção e pelo apoio.

Aos amigos de república e do curso de Engenharia Florestal, pela oportunidade de convivência e pelo companheirismo durante a minha passagem por essa tão querida cidade.

Aos meus pais Waldivino e Ilma, pelos ensinamentos, pelo amor e pela compreensão dedicados ao longo de minha vida.

Às minhas irmãs Michele e Jamille, pelo carinho e pelos incentivos dados a todo instante.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

FAUSTO ARAÚJO PAIXÃO, filho de Waldivino da Paixão Espírito Santo e Ilma Araújo Paixão, nasceu em Paracatu, Minas Gerais, em 13 de agosto de 1975.

Em 1993, concluiu o curso Técnico em Contabilidade na Escola Estadual Virgílio de Mello Franco, em Paracatu, Minas Gerais.

Em 1996, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em março de 2001.

Em março de 2002, iniciou o Mestrado em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 26 de março de 2004.

Atualmente, é responsável pelo Inventário Florestal da Duratex S.A.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Mudanças climáticas	5
3.1.1. Efeito estufa	6
3.1.2. Convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (CQNUMC)	7
3.1.3. Protocolo de Quioto	8
3.1.4. Seqüestro de carbono pelas florestas e o MDL	9
3.2. Acúmulo de biomassa e carbono pelas florestas	11
3.2.1. Métodos para quantificação da biomassa	14
3.2.1.1. Métodos destrutivos	14
3.2.1.1.1. Seleção das árvores-amostra	15
3.2.1.1.2. Parte aérea	16
3.2.1.1.3. Sistema radicular	17
3.2.1.1.4. Manta orgânica	19
3.2.1.1.5. Sub-bosque	19
3.2.1.2. Métodos indiretos	20
3.2.1.2.1. Modelos de regressão	20
3.2.2. Determinação da biomassa	21
3.2.3. Estimativa da biomassa em florestas	22
3.2.4. Estimativa do estoque de carbono em florestas	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Caracterização da área de estudo	26

	Página
4.2. Coleta e análise de dados.....	26
4.2.1. Estimativa volumétrica	26
4.2.2. Estimativas do estoque de carbono	28
4.2.3. Alternativas de uso.....	29
4.3. Análise econômica	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. Equação hipsométrica.....	32
5.2. Equação de <i>Taper</i>	33
5.3. Estimativas do estoque de carbono	33
5.4. Estimativas volumétricas.....	36
5.5. Análise econômica	37
5.6. Análise de sensibilidade.....	39
6. RESUMO E CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

RESUMO

PAIXÃO, Fausto Araújo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2004.
Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de uso de um povoamento de eucalipto. Orientador: Carlos Pedro Boechat Soares. Conselheiros: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine e Márcio Lopes da Silva.

O presente estudo foi desenvolvido com os seguintes objetivos: quantificar o estoque de madeira para carvão e serraria; quantificar o estoque de biomassa expressa em toneladas de carbono, nos diferentes compartimentos de um povoamento de eucalipto; e avaliar economicamente alternativas de uso, visando a inserção de povoamentos florestais no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e a venda de créditos de carbono. Assim, realizou-se um inventário florestal em um povoamento de *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade, no município de Viçosa, Minas Gerais, obtendo-se estimativas volumétricas da madeira por hectare para carvão e serraria e estimativas médias por hectare do estoque de carbono em diferentes compartimentos da floresta (parte aérea, manta orgânica e raízes). Os critérios quantitativos considerados na análise econômica foram: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Esperado da Terra (VET). A taxa de desconto considerada foi de 10% ao ano. Depois das análises, verificou-se que o fuste é o componente da árvore que mais contribui, em média, para o total de carbono

da parte aérea (81,84%), seguido por casca (8,05%), galhos (7,74%) e folhas (2,57%). No povoamento estudado, 47,7 toneladas de carbono por hectare estão estocadas na parte aérea das árvores; 14,71, nas raízes; e 8,72, na manta orgânica, totalizando 71,13 toneladas de carbono total por hectare. Para um volume total de 204,09 m³/ha, considerando os dois usos para a madeira (serraria e carvão), 62,52% seriam destinados à produção de carvão e 37,48% à serraria. Levando em conta a estrutura de custos e receitas adotada neste estudo e o horizonte de planejamento de seis anos, a produção de madeira somente para a venda de créditos de carbono (projeto 3), sem considerar o uso final da madeira, é economicamente viável, segundo os critérios quantitativos de avaliação de projeto (VPL, TIR e VET), se a tonelada de carbono for comercializada a US\$ 10,07. A utilização da madeira, para serraria e carvão (projeto 2), acarreta maiores valores agregados, tornando o empreendimento mais atrativo economicamente. A inclusão da venda de créditos de carbono (projetos 4 e 5) torna o empreendimento ainda mais atrativo economicamente, sobretudo porque a receita considerada no início do projeto se reflete positivamente nos critérios de avaliação econômica.

ABSTRACT

PAIXÃO, Fausto Araújo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2004.
Carbon stock quantification and economic evaluation of use alternatives in a eucalyptus stand. Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares. Committee Members: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine and Márcio Lopes da Silva.

This study aimed to quantify wood stock for charcoal and sawmill; biomass stock expressed in carbon tons in the different sectors of a Eucalyptus stand; and to economically evaluate alternatives for inserting forest stands into the Clean Development Mechanisms and carbon credit trade. Thus, a 6 – year - old *Eucalyptus grandis* forest inventory was carried out in Viçosa, Minas Gerais, with wood volumetric estimates per hectare for charcoal and sawmill and carbon stock mean estimates per hectare being obtained in different forest sectors (aerial part, organic manta and roots). The quantitative criteria considered in the economic analysis were: Liquid Present Value (LPV), Return Internal Rate (RIR), Land Expected Value (LEV). The discount rate considered was 10% per year. After the analyses, it was verified that the stem is the tree component that most contributes, on average, to carbon total in the aerial part (81.84%), followed by the bark (8.05%), branches (7.74%) and leaves (2.57%). In the stand studied, 47.7 tons of carbon per hectare are stocked in the aerial part of the trees; 14.71 in the roots; and 8.72 in the organic manta, totaling

71.13 tons of carbon total per hectare. For a total volume of 204.09 m³/ha, considering both wood uses (sawmill and charcoal), 62.52% would be for charcoal production and 37.48% for sawmill. Taking into account cost structure and revenues adopted in this study and a six - year plan, wood production exclusively for carbon credit trade (project 3), without taking into account final wood use, is economically viable, according to the project's quantitative criteria of evaluation (LPV, RIR and LEV), provided the carbon ton is sold for US\$ 10.07. The use of wood for sawmill and charcoal (project 2) allows higher added values, rendering the undertaking more economically attractive. Carbon credit trade (projects 4 and 5) renders the undertaking even more attractive, especially because the revenue considered at the beginning of the project is positively reflected in the economic evaluation criteria.

1. INTRODUÇÃO

Entre os anos de 1850 e 1998, aproximadamente 405 ± 60 Gt C (gigatoneladas de carbono) foram emitidas como gás carbônico (CO_2) na atmosfera, devido à queima de combustível fóssil e produção de cimento (67%) e de mudanças do uso da terra (33%). Como resultado, a concentração de CO_2 atmosférica subiu, nesse período, de 285 ± 5 ppmv (parte por milhão do volume) para 366 ppmv (28% de aumento), sendo as emissões antropogênicas de CO_2 responsáveis por 40% desse aumento (SR - LULUCF, 2000a).

Mesmo que ainda haja dúvidas, a maioria dos cientistas e dos políticos concordam que existe um aquecimento da atmosfera provocado pela concentração de certos gases atmosféricos (entre eles o gás carbônico), resultando no chamado *efeito estufa*. Segundo as expectativas mais pessimistas, o efeito estufa pode acarretar a ocorrência de extremos climáticos – como ventos fortes, chuvas intensas e secas prolongadas – e a inundação de grandes áreas de terras baixas nos litorais, causando prejuízos econômicos em muitos locais (NUTTO et al., 2002).

Desde o início das discussões sobre as mudanças climáticas, em diferentes fóruns mundiais, o uso da terra e das florestas como mecanismo para mitigar as mudanças climáticas devido ao efeito estufa sempre foi considerado. No entanto, devido a incertezas científicas sobre as emissões de CO_2 decorrentes das atividades de desmatamento e sobre as taxas de desmatamento em todo o mundo, esse assunto gera muita polêmica. Somente

a partir do estabelecimento dos mecanismos de flexibilização no Protocolo de Quioto, em 1997, na Convenção das Partes-3 (COP-3), o foco da discussão migrou para o seqüestro de carbono pelas florestas, como uma das alternativas de compensação das emissões dos países industrializados (YU, 2002).

Tendo em vista esse foco, o Brasil poderá assumir uma posição privilegiada em relação aos países que buscam reverter o processo de mudança climática global, tanto do ponto de vista das reduções de emissões (evitando queimadas) quanto do seqüestro de carbono (através de reflorestamentos), uma vez que poucos países possuem condições climáticas e tecnológicas apropriadas para a produção florestal como o Brasil (ROCHA, 2002).

Diante da possibilidade da utilização das florestas como mitigador de problemas ambientais (climáticos), há necessidade de utilização de um manejo florestal moderno, que requeira a integração entre floresta, indústria e mercado, a fim de maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento das florestas. Para isso, é importante que sejam desenvolvidas e utilizadas técnicas que visem identificar as oportunidades, as alternativas de uso e as estimativas de diferentes produtos que as florestas podem oferecer (LEITE, 1994).

Em um mercado globalizado e cada vez mais competitivo, a possibilidade de agregar valores às florestas plantadas, com o emergente “mercado de créditos de carbono”, e de contribuir para redução nas emissões de CO₂ na atmosfera cria perspectivas otimistas de expansão para o setor florestal brasileiro. Embora o setor florestal possa se beneficiar, existem poucos trabalhos evidenciando o potencial real das florestas nesse mercado. Inúmeras estimativas têm sido feitas baseando-se em estimativas volumétricas dos fustes das árvores, as quais são convertidas em biomassa e em carbono. Trabalhos incluindo estimativas precisas dos diversos compartimentos da floresta (solo, raízes, copa das árvores, manta orgânica, etc.) ainda são escassos.

Diante dessa constatação, observa-se a necessidade de projetos na área de mensuração e manejo florestal, relacionados ao desenvolvimento de técnicas e métodos para a estimação do estoque de carbono em árvores

individuais e nos diversos componentes da floresta, e de estudos de viabilidade econômica, incluindo o seqüestro de carbono.

Os resultados de estudos dessa natureza são de extrema importância para os projetos que objetivam o atendimento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), pois irão: subsidiar o monitoramento de planos de manejo florestal voltado ao seqüestro de carbono; definir as linhas gerais de projetos de recuperação florestal de áreas degradadas; e definir alternativas de manejo florestal, entre outros.

2. OBJETIVOS

Em conformidade com o exposto anteriormente, o presente trabalho teve por objetivos:

- Quantificar o estoque de biomassa expressa em toneladas de carbono, nos diferentes compartimentos de um povoamento de eucalipto.
- Quantificar o estoque de madeira para carvão e serraria.
- Avaliar economicamente o estoque de madeira para a produção de carvão e serraria e o potencial para geração de créditos de carbono.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Mudanças climáticas

Mudança climática é um termo bastante genérico, que engloba vários assuntos, como o efeito estufa, as causas da intensificação deste fenômeno natural, as consequências do aquecimento global, as medidas necessárias para prevenir ou minimizar este aquecimento e, também, as prováveis medidas que a humanidade deverá adotar para se adaptar a essa mudança (CENTRO CLIMA, 2002).

As mudanças climáticas no planeta Terra, em todas as escalas, não podem ser explicadas por um único processo. Vários fatores podem contribuir para essas modificações, como a deriva continental, as alterações na topografia do planeta, as mudanças na atividade solar, as alterações da órbita terrestre e da obliquidade eclíptica, as erupções vulcânicas e as causas antropogênicas (MEIRELES, 1994). No entanto, as mudanças no clima da Terra podem estar diretamente relacionadas ao aquecimento global, tendo como causa mais provável o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (entre eles o gás carbônico – CO₂).

Alguns estudos mostram que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera coincide com a industrialização da sociedade humana (Revolução Industrial). Dessa forma, existem boas evidências para indicar que esse aumento de concentração é causado pelas emissões crescentes de CO₂ das

atividades humanas (SPM-TAR WG2, 2001). Análises de bolhas de ar aprisionadas no gelo de grandes geleiras nas regiões polares e nas montanhas da Antártica e da Groelândia mostraram variações significativas da concentração do dióxido de carbono atmosférico desde o final da última era glacial. Nesse período, a concentração, que era de 200 ppm (partes por milhão), aumentou gradualmente para cerca de 225 ppm ao longo de oito mil anos e para 250 ppm durante os sete mil anos seguintes. No início da Revolução Industrial (aproximadamente 1850), a concentração variou entre 275 e 285 ppm. Em 1998, a concentração de CO₂ aumentou para 366 ppm (SR-LULUCF, 2000b).

As mudanças climáticas podem afetar severamente os ecossistemas, de tal forma que estes podem demandar muito tempo para se adaptarem e se restabelecerem (WATSON et al., 1997). As florestas são consideradas particularmente vulneráveis às mudanças ambientais, em razão da longevidade das árvores. Se as mudanças excederem os limites fisiológicos das árvores, pode resultar em aumento da mortalidade e afetar as relações competitivas entre espécies, que em troca podem conduzir a mudanças na composição de espécies e na estrutura das florestas (KRÄUCHI, 1993; LEXER et al., 2001).

3.1.1. Efeito estufa

Dentre todas as camadas que constituem a Terra, a atmosfera é a mais tênue, sendo sua massa 1.000.000 de vezes menor que a da parte sólida do planeta. Sua densidade, mesmo ao nível do mar, onde é mais elevada, é menor que um milésimo da densidade das rochas (VIANELLO, 1991).

A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, predominantemente nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂), perfazendo em conjunto 99% da sua constituição (BNDS, 1999). Os gases que constituem a atmosfera permitem a passagem da radiação solar, porém absorvem grande parte da radiação infravermelha termal, que é emitida pela superfície terrestre. Essa propriedade inerente à atmosfera terrestre resulta no chamado efeito estufa (LIOU, 1980; FLEAGE e BUSINGER, 1980; MEIRELES, 1994).

Segundo HOUGHTON (1999), o efeito estufa existe há bilhões de anos, possibilitando a vida terrestre na forma conhecida. Caso não houvesse o efeito

estufa natural, a temperatura média da superfície da Terra situar-se-ia na faixa de -18 °C. A temperatura média global da superfície da Terra com a presença do efeito estufa é de 15 °C.

O Anexo A do Protocolo de Quioto (1997) define os seis gases responsáveis pelo efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Quanto maior a concentração desses gases, maior será a absorção de calor e maior será o aquecimento da atmosfera.

Atenção prioritária tem sido dedicada ao dióxido de carbono, uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 55% do total das emissões de gases de efeito estufa, e o tempo de sua permanência na atmosfera é de pelo menos 10 décadas. Segundo o IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change), a quantidade de dióxido de carbono emitida mundialmente em 1990 foi de 7,4 bilhões de toneladas/ano, das quais 6,0 bilhões eram provenientes do setor de energia, 1,2 bilhão como resultado de queimadas e derrubadas de florestas (mudança no uso do solo) e 0,2 bilhão como consequência da produção de cimento (BNDS, 1999).

3.1.2. Convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (CQNUMC)

Diante dos indícios de que o clima da terra tem mudado ao longo do tempo e mais rapidamente nas últimas décadas, em função do aumento das concentrações dos gases de efeito estufa, em junho de 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como “Cúpula da Terra”, realizada no Rio de Janeiro, foi negociada e assinada por 175 países, mais a União Européia, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, desde então denominada Convenção (BNDS, 1999).

Esse primeiro momento representou uma formalização da preocupação internacional com os efeitos negativos acarretados pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), no qual se efetivou o comprometimento voluntário dos países do Anexo I – países industrializados membros da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE), exceto México e Coréia do Sul, além de países industrializados em processo de

transição para uma economia de mercado – em reduzir suas emissões no ano 2000 para níveis de 1990 (meta prorrogada nos acordos posteriores), visando à estabilização da concentração desses gases na atmosfera.

Entre os princípios que guiam o regime internacional sobre mudanças do clima, ênfase é atribuída ao das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, das Partes. Este princípio internacional está cristalizado, na sua forma mais pura, no artigo terceiro da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, devido ao fato de as emissões históricas de gases de efeito estufa dos países desenvolvidos e daqueles com economia em transição serem maiores do que aquelas dos países em desenvolvimento, o que implica compromissos e obrigações diferentes (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002).

O princípio da precaução – que estabelece a necessidade de se tomarem medidas rápidas para prevenir os efeitos adversos da mudança global do clima, apesar de não existir plena certeza científica sobre o tema – é parte importante do espírito da Convenção, que assim atua para beneficiar as gerações futuras e garantir a sustentabilidade do meio ambiente global (Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002).

3.1.3. Protocolo de Quioto

Em 1997, na Terceira Conferência das Partes (COP-3) da Convenção do Clima ocorrida em Quito, foi aprovado o Protocolo de Quioto, o qual determina o estabelecimento de compromissos por parte dos países desenvolvidos (Anexo I) de atingir uma meta global de redução média de 5,2% das emissões dos gases de efeito estufa, em relação ao ano de 1990, durante o período de 2008-2012.

O Protocolo de Quioto foi aberto para a assinatura em 16 de março de 1998. Entrará em vigor 90 dias depois da sua ratificação por pelo menos 55 Partes da Convenção, incluindo os países desenvolvidos que contabilizaram pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990 (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997).

Este Protocolo é o começo de uma negociação, de consenso internacional, sobre o que pode ser feito para reduzir as emissões e como isso pode

ser implementado. O seu reconhecimento e a sua ratificação são pequenos passos – essenciais – no sentido de estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera (THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, 2001).

De acordo com PROTOCOLO DE QUIOTO (1997), foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização a serem utilizados para cumprimento dos compromissos da Convenção (redução de emissões): Implementação Conjunta ou JI (*Joint Implement*), Comércio de Emissões (*Emissions Trade - ET*) e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo - MDL (CDM - *Clear Development Mechanism*). O Protocolo considera ainda mais uma flexibilização, denominada “Bolha”, em que diversos países podem cumprir suas metas conjuntamente, como se houvesse uma grande bolha os envolvendo.

O JI está restrito aos países do Anexo I, referindo-se à transferência e aquisição de unidades de redução de emissões resultantes de projeto de mitigação de mudanças climáticas. O ET inclui somente os países do Anexo B (Anexo I da CQNM menos Belarus e Turquia), permitindo-lhes participar do comércio de emissões com o objetivo de mitigação de mudanças climáticas. O MDL, por sua vez, tem como objetivo assistir tanto as Partes incluídas como as não incluídas no Anexo I.

3.1.4. Seqüestro de carbono pelas florestas e o MDL

O fato de as florestas em crescimento absorverem o CO₂ da atmosfera através da fotossíntese, formando grandes reservatórios de carbono, tem caracterizado os ecossistemas florestais como uma importante alternativa para a redução do efeito estufa (CAMPOS, 2001).

No estabelecimento do Protocolo de Quioto, foi levantado o interesse quanto ao potencial de uso de florestas como uns dos meios de mitigar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). O potencial para aumentar a quantidade de carbono fixado através do armazenamento pelas florestas e agroflorestas pode ser da ordem de 60 a 90 x 10¹⁵ Gt de carbono, segundo WINJUN et al. (1992). Além disso, a mitigação das emissões pelas florestas e pelo uso racional da terra pode servir a outros interesses ambientais, econômicos e sociais simultaneamente, de modo efetivo, uma vez que projetos

de compensação de GEE podem ser amarrados a metas sociais e econômicas para a população (TREXLER, 1993; JONG, 2001).

O artigo 12.2 do Protocolo de Quioto define a finalidade do MDL como sendo a de assistir as Partes Não-Anexos I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção (redução das emissões), bem como as Partes Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitações e reduções de emissões.

O princípio básico do MDL é simples. Ele permite que países desenvolvidos invistam nos países em desenvolvimento em projetos de redução de emissões de baixo custo e que recebam créditos pela redução das emissões. Os países desenvolvidos podem então aplicar esses créditos nas metas fixadas para 2008-2012, reduzindo assim os cortes que teriam de ser feitos nas próprias economias. Como muitas das oportunidades de redução de emissões são mais baratas em países em desenvolvimento, isso aumenta a eficiência econômica para alcançar as metas iniciais de redução de emissões de GEE. Como a contribuição das emissões de GEE para as mudanças climáticas é a mesma, independentemente de onde elas ocorram, o impacto no meio ambiente global é o mesmo.

Durante a Sétima Conferência das Partes (COP 7), em Marraqueche, no ano de 2001, a decisão tomada foi a de que projetos de florestamento e de reflorestamento serão elegíveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL durante o primeiro período de compromisso (2008-2012) (MMA, 2002).

Na COP 9 (Nona Conferência das Partes), definiu-se que os projetos de florestamento e reflorestamento devem ser guiados pelos princípios referidos na seção de *Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra e Florestas* (LULUCF) e que as modalidades devem ser desenvolvidas pelo Órgão Subsidiário de Assessoramento Técnico e Científico (MCT, 2004).

Ainda segundo o MCT (2004), na COP 9 foram definidos os seguintes pontos:

- As modalidades de projetos devem incluir a não-permanência, a adicionalidade, o vazamento, a escala, as incertezas e os impactos ambientais e socioeconômicos (inclusive impactos na biodiversidade e nos ecossistemas naturais).

- O estabelecimento de dois tipos de Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que são: as Reduções Certificadas de Emissões temporárias (tRCEs) e as Reduções Certificadas de Emissões de longo prazo (lRCEs).

- As partes Anexo I e Não-Anexo I (hospedeira do projeto) devem avaliar, de acordo com suas leis, os riscos potenciais associados ao uso de espécies exóticas e organismos geneticamente modificados nas atividades de projetos de florestamento e reflorestamento.

- Os projetos de florestamento e reflorestamento, para serem considerados no MDL, devem resultar em florestas que possuam: uma cobertura de copa mínima de 10 a 30 por cento; uma área mínima cultivada de 0,05 a 1 hectare; e uma altura mínima das árvores entre 2 e 5 metros.

3.2. Acúmulo de biomassa e carbono pelas florestas

Segundo ODUM (1986), a biomassa pode ser definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa em termos de peso seco, peso úmido e peso em carbono. Sua medição é um instrumento útil na avaliação de ecossistemas, em virtude da aplicação na análise da produtividade, conversão de energia, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de energia solar, entre outros (CAMPOS, 1991; CARBONERA PEREIRA et al., 1997).

As florestas acumulam biomassa através da fotossíntese, na elaboração de fotoassimilados. O acúmulo é diferente em cada local onde ela é medida, refletindo uma variação decorrente de fatores ambientais e de fatores inerentes à própria planta. Segundo Kramer e Kozlowski (1972), citados por CAMPOS (1991), o acúmulo de biomassa é influenciado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração, como, por exemplo, luz, temperatura, concentração de CO₂ do ar, umidade e fertilidade do solo, fungicidas, inseticidas e doenças, além de fatores internos, que incluem a idade das folhas, a sua estrutura e disposição, a distribuição e o comportamento dos estômatos, o teor de clorofila e a acumulação de hidratos de carbono (CARBONERA PEREIRA et al., 1997).

Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente (CROMER et al., 1975; LARCHER, 1984; CALDEIRA et al., 2000).

A avaliação do potencial produtivo de um sítio ou local por meio da produção de biomassa é fundamental no manejo e planejamento das indústrias de base florestal, especialmente quando se tem o conhecimento da distribuição de biomassa nos componentes da árvore, em seqüência de idade (REIS et al., 1985; PEREIRA, 1990). No Quadro 1 são apresentadas as produções de biomassa encontrada por vários autores, em florestas de eucalipto, sob diferentes condições de plantio.

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em 2002, em seu “Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa”, estimou a quantidade de carbono fixada por florestas de pinus e eucalipto, em milhões de toneladas, entre os anos de 1990 e 1994 (Quadros 2 e 3).

Quadro 1 – Produção de biomassa, em t/ha, para algumas espécies de eucalipto, em diferentes idades e espaçamentos

Espécie	Idade (anos)	Região	Espaçamento (m)	Biomassa (t/ha)						Referência
				Tronco*	Casca	Galhos	Folhas	Raiz	M. Org.	
<i>E. camaldulensis</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x1,5	1,5	0,4	2,0	3,1	5,0	-	LADEIRA (2001)
<i>E. camaldulensis</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x3,0	1,7	0,3	1,1	2,0	5,5	-	"
<i>E. camaldulensis</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x4,0	1,3	0,2	0,9	1,6	5,1	-	"
<i>E. pellita</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x1,5	1,9	0,6	2,4	3,7	4,9	-	"
<i>E. pellita</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x3,0	1,1	0,4	1,5	2,2	3,0	-	"
<i>E. pellita</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x4,0	1,0	0,3	1,3	1,9	2,9	-	"
<i>E. urophylla</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x1,5	3,7	0,7	3,8	4,6	6,3	-	"
<i>E. urophylla</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x3,0	2,4	0,5	2,7	3,0	4,2	-	"
<i>E. urophylla</i>	1,3	Três Marias-MG	3,0x4,0	2,1	0,4	2,2	2,5	3,9	-	"
<i>E. camaldulensis</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x1,5	12,5	2,0	5,3	3,2	13,8	-	"
<i>E. camaldulensis</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x3,0	10,9	1,6	3,8	3,0	15,5	-	"
<i>E. camaldulensis</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x4,0	9,3	1,4	3,1	2,4	15,7	-	"
<i>E. pellita</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x1,5	9,9	3,0	6,4	6,7	16,5	-	"
<i>E. pellita</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x3,0	6,8	2,0	4,7	5,3	11,1	-	"
<i>E. urophylla</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x1,5	20,7	3,1	7,1	7,9	15,7	-	"
<i>E. urophylla</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x3,0	12,7	2,1	5,4	6,2	11,7	-	"
<i>E. urophylla</i>	2,6	Três Marias-MG	3,0x4,0	11,5	1,9	5,1	6,3	12,0	-	"
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	3,0x5,0	18,34	-	5,12	4,01	-	-	ASSIS (1999)
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	3,0x4,0	18,31	-	6,26	3,63	-	-	"

Continua...

Quadro 1, cont.

Espécie	Idade (anos)	Região	Espaçamento (m)	Biomassa (t/ha)						Referência
				Tronco*	Casca	Galhos	Folhas	Raiz	M. Org.	
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	3,0x3,0	24,29	-	5,54	5,69	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	3,0x2,0	38,48	-	5,31	6,6	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	4,0x2,25	23,78	-	4,7	3,97	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	5,0x1,8	25,53	-	5,06	2,85	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	6,0x1,5	28,8	-	7,45	6,97	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,1	Bocaiúva-MG	9,0x1,0	21,81	-	3,51	3,48	-	-	-
<i>E. torelliana</i>	3,2	Timóteo-MG	3,0x2,0	30,58	4,37	4,1	2,76	-	7,43	MOLLICA (1992)
<i>E. citriodora</i>	3,2	Timóteo-MG	3,0x2,0	23,81	4,69	3,23	2,59	-	3,15	-
<i>E. camaldulensis</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x1,5	19,7	3,1	7,6	4,6	18,2	-	LADEIRA (2001)
<i>E. camaldulensis</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x3,0	17,3	2,9	5,9	4	20,6	-	-
<i>E. camaldulensis</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x4,0	15,5	2,9	5,1	3,4	21,8	-	-
<i>E. pellita</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x1,5	20,7	5	8,8	6,8	25,2	-	-
<i>E. pellita</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x3,0	15,2	3,5	6,2	5,6	17	-	-
<i>E. pellita</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x4,0	14,6	3,2	5,6	5,6	14,1	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x1,5	38,8	5,6	9,8	10,1	19,9	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x3,0	22,9	3,6	7,8	8,3	16,7	-	-
<i>E. urophylla</i>	3,4	Três Marias-MG	3,0x4,0	21,6	3,4	7,3	10,3	18	-	-
<i>E. maculata</i>	3,5	Itamarandiba-MG	3,0x2,0	9,68	2,26	2,34	2,01	-	5,06	MOLLICA (1992)
<i>E. grandis</i>	4,0	Curvelo-MG	3,0x1,0	39,94	6,52	6,38	5,94	-	7,93	PEREIRA (1990)
<i>E. urophylla</i>	4,0	Curvelo-MG	3,0x1,0	38,12	6,89	5,65	6,78	-	7,7	-
Idade entre 1,3 e 4,0 anos			Média	16,38	2,54	4,81	4,66	12,47	6,25	
			% Parte aérea	57,70	8,96	16,94	16,40			
			% geral	34,76	5,40	10,21	9,88	26,47	13,27	
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	3,0x5,0	32,1	-	8,2	3,89	-	-	ASSIS (1999)
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	3,0x4,0	43,94	-	9,29	4,8	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	3,0x3,0	54,94	-	8,8	7,58	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	3,0x2,0	68,3	-	8,1	6,05	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	4,0x2,25	51,17	-	6,54	5,01	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	5,0x1,8	47,95	-	9,47	5,73	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	6,0x1,5	67,71	-	9,52	6,29	-	-	-
<i>E. urophylla</i>	4,1	Bocaiúva-MG	9,0x1,0	36,78	-	6,08	3,43	-	-	-
<i>E. grandis</i>	5,5	Carbonita-MG	3,0x2,0	22,94	5,3	3,47	2,35	16,01	8,64	FERREIRA(1984)
<i>E. grandis</i>	6,0	B. Desp.-MG	3,0x2,0	61,84	10,95	9,13	3,33	12,69	14,03	-
<i>E. camaldulensis</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x1,5	35,8	6,3	3,5	2,1	22,4	-	LADEIRA (2001)
<i>E. camaldulensis</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x3,0	34,9	5,8	3,5	1,9	21,3	-	-
<i>E. camaldulensis</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x4,0	31,5	4,9	3,2	1,7	21,3	-	-
<i>E. pellita</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x1,5	32,6	8,3	5	2,8	19,9	-	-
<i>E. pellita</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x3,0	24,9	5,9	5,4	2,8	16,4	-	-
<i>E. pellita</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x4,0	24,7	5,4	3,2	2,3	14,8	-	-
<i>E. urophylla</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x1,5	69,2	11,5	9,5	4,4	19,1	-	-
<i>E. urophylla</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x3,0	49,1	8,8	7,8	5,2	23,9	-	-
<i>E. urophylla</i>	7,0	Três Marias-MG	3,0x4,0	41,9	8,4	7,5	6,1	22,7	-	-
Idades entre 4,1 e 7,0 anos			Média	43,80	7,41	6,69	4,09	19,14	11,33	
			% Parte aérea	70,65	11,96	10,80	6,60			
			% geral	47,37	8,02	7,24	4,43	20,69	12,26	
<i>E. citriodora</i>	8,0	Paraopeba-MG	3,0x2,0	61,4	15,3	19,1	6,1	-	-	MORAIS(1988)**
<i>E. cloeziana</i>	8,0	Paraopeba-MG	3,0x2,0	71,9	30,5	11,8	5,8	-	-	-
<i>E. saligna</i>	8,0	Paraopeba-MG	3,0x2,0	94,6	16,9	32,5	10,6	-	-	-
<i>E. grandis</i>	8,0	Paraopeba-MG	3,0x2,0	78,5	11,9	30,5	7,5	-	-	-
<i>E. grandis</i>	10,0	Itirapina-SP	3,0x3,0	160,3	23,3	-	-	-	-	SILVA (1983)**
<i>E. saligna</i>	10,0	Itirapina-SP	3,0x3,0	168,7	15,5	-	-	-	-	-
<i>E. propinqua</i>	10,0	Itirapina-SP	3,0x3,0	85,7	17,5	-	-	-	-	-
<i>E. dunii</i>	10,0	Itirapina-SP	3,0x3,0	125,6	24,9	-	-	-	-	-
<i>E. robusta</i>	10,0	Itirapina-SP	3,0x3,0	117,4	16,7	-	-	-	-	-
Idades entre 7,1 e 10,0 anos			Média	107,12	19,17	23,48	7,5	-	-	
			% Parte aérea	68,12	12,19	14,93	4,77			

* tronco sem casca.

** extraído de SOARES (1995).

Quadro 2 – Estimativa de carbono estocado em florestas de pinus no Brasil

Ano	Milhões de toneladas			
	Tronco*	Copa	Raízes	Total
1990	12,52	3,13	4,38	20,03
1991	13,11	3,28	4,59	20,98
1992	13,56	3,39	4,75	21,70
1993	14,22	3,55	4,98	22,75
1994	14,42	3,60	5,05	23,07

* madeira + casca.

Quadro 3 – Estimativa de carbono estocado em florestas de eucalipto no Brasil

Ano	Milhões de toneladas			
	Tronco*	Copa	Raízes	Total
1990	69,23	13,85	24,23	107,31
1991	75,87	15,17	26,55	117,59
1992	81,10	16,22	28,38	125,70
1993	87,45	17,49	30,16	135,55
1994	95,49	19,10	33,42	148,01

* madeira + casca.

3.2.1. Métodos para quantificação da biomassa

A biomassa presente em uma floresta pode ser determinada somando-se a biomassa da parte aérea de cada árvore à biomassa presente na matéria viva e morta sobre o solo (sub-bosque e manta orgânica) e sob este (raízes), através de métodos destrutivos, ou estimada por métodos indiretos (SALATI, 1994; SANQUETTA, 2002).

3.2.1.1. Métodos destrutivos

A utilização de métodos destrutivos implica a derrubada de árvores-amostra, o corte de vegetação viva sobre o solo, a retirada do material orgânico sobre o solo e a retirada do material sob o solo (raízes).

3.2.1.1.1. Seleção das árvores-amostra

A seleção de árvores-amostra, visando a obtenção de dados para o estudo da biomassa da parte aérea e do sistema radicular, baseia-se, fundamentalmente, em três procedimentos básicos: (a) seleção de um número de árvores igualmente repartidas em classes ou categorias de tamanho relativo às características do povoamento (*dap*, altura, classe de copa,...); (b) seleção de um número de árvores proporcional às respectivas freqüências nas classes ou categorias de tamanho; e (c) seleção de árvores com base em parâmetros fitossociológicos, no caso de florestas tropicais naturais (SOARES, 1995).

Avaliando a produção de biomassa do tronco de cinco espécies de eucalipto, SILVA (1983) distribuiu as árvores do povoamento em três classes de copa: árvores dominantes, co-dominantes e dominadas. Em cada classe foi escolhida uma árvore de altura média, para determinação da biomassa do tronco. De maneira semelhante, KRAENZEL et al. (2003), avaliando o estoque de carbono em plantações de Teka, no Panamá, na idade de corte, dividiram as árvores em três classes de altura, sendo selecionada aleatoriamente em cada classe uma árvore, para determinação da biomassa e do carbono.

FERREIRA (1984), avaliando a produção de biomassa e a ciclagem de nutrientes das partes aérea e radicular de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em diferentes idades e sítios, e FINKE HERRERA (1989), em estudo sobre a densidade da madeira e a determinação de equações de peso seco para árvores de eucalipto, estratificaram o povoamento em classes de *dap* e selecionaram de três a cinco árvores por classe de diâmetro, para os seus estudos. Semelhantemente, PEREIRA (1990) e MOLLICA (1992) selecionaram, respectivamente, duas e três árvores de diâmetros médios para avaliar a produção de biomassa, a ciclagem de nutrientes e a eficiência nutricional de diferentes espécies de eucalipto. No trabalho de SOUZA (1989), em que se avaliou o efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis*, o povoamento foi estratificado em classes de diâmetro, dentro das quais selecionou-se um número de árvores proporcional ao número de árvores da respectiva classe.

Avaliando a biomassa e o carbono armazenado em plantações de *Pinus pinaster*, RITSON e SOCHACKI (2003) selecionaram de 6 a 10 árvores por classe de altura e diâmetro.

ADEGBIDI et al. (2002), conduzindo estudo para o desenvolvimento de biomassa em povoamento de *Pinus taeda*, sob manejo intensivo, estratificaram o povoamento e selecionaram oito árvores por classe de índice de local e por classe de altura.

LACLAU (2003), avaliando a biomassa e o seqüestro de carbono em plantações de *Pinus ponderosa* e florestas nativas de ciprestes, também estratificou o povoamento em classes de diâmetros, porém selecionou de uma a três árvores por classe de diâmetro.

MADEIRA et al. (2002), avaliando a mudança no estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus globulus*, com diferentes níveis de água e nutrição do solo, selecionaram sete árvores por tratamento, para determinação do carbono.

LELES et al. (2001), avaliando o crescimento, a produção e a alocação de matéria seca de *E. camaldulensis* e *E. pellita*, sob diferentes espaçamentos, selecionaram uma árvore por tratamento, para determinação da biomassa.

SCHUMACHER e CALDEIRA (2001), avaliando a biomassa e o conteúdo de nutrientes em *Eucalyptus globulos*, estratificaram o povoamento em classes de diâmetro e, em cada classe preestabelecida, abateram uma árvore-amostra.

3.2.1.1.2. Parte aérea

Compreende-se como parte aérea das árvores o conjunto de galhos e folhas, o tronco, constituído pela madeira e pela casca, e os frutos e flores, se estiverem presentes.

A amostragem de folhas é feita após a pesagem do conjunto de folhas destacadas. SILVA (1983), FERREIRA (1984), PEREIRA (1990) e MOLLICA (1992) retiraram uma amostra de aproximadamente 50 gramas de folhas de eucalipto, para determinação do seu peso seco em estufa. MADEIRA et al. (2002), por sua vez, retiraram 25% da folhagem de árvores de *Eucalyptus globulus*, a fim de compor a amostra para determinação do carbono. KRAENZEL et al. (2003), em povoamentos de Teka, separaram as folhas em

pequenas, médias e grandes e retiraram amostras de 100 g para determinação do carbono. RITSON e SOCHACKI (2003) amostraram entre 200 e 800 g das folhas para determinação do seu peso seco em estufa.

A amostragem de galhos é feita semelhantemente à amostragem de folhas. Contudo, após a pesagem do conjunto de galhos, incluindo a ponta da árvore com diâmetro menor que o mínimo estabelecido para a cubagem rigorosa, são retirados fragmentos da base, do meio e da ponta de galhos de diferentes posições na copa das árvores, para formar uma amostra composta de galhos. Dessa amostra composta, então, retira-se uma pequena subamostra, para determinação do seu peso seco em laboratório (TEIXEIRA et al., 1989; PEREIRA, 1990; MOLLICA, 1992).

Quanto à amostragem de flores e frutos, segue-se o mesmo procedimento para as folhas e os galhos.

Para o tronco (madeira + casca), a amostragem é feita retirando-se discos de madeira com casca ao longo do tronco, em níveis de medições preestabelecidos (0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial), como realizado nos trabalhos de VITAL et al. (1985), FINKE HERRERA (1989), SOUZA (1989) e MOLLICA (1992); na base e no topo do tronco comercial (FERREIRA, 1984); na base, no meio e no topo do tronco (TEIXEIRA, 1989; LELES, 2001); ou somente no meio do tronco comercial (SILVA, 1983). No trabalho de PEREIRA (1990), os discos de madeira foram retirados sem casca e a amostragem desta foi feita retirando-se uma fita de casca que compreendia toda a extensão do tronco das árvores. De posse dos discos de madeira contendo casca e madeira, estes foram levados ao laboratório, para determinação das respectivas densidades básicas. ADEGBIGI (2002) amostrou discos de madeira em intervalos regulares de 0,7 ou 1,5 m, dependendo da altura da árvore.

3.2.1.1.3. Sistema radicular

A amostragem do sistema radicular de árvores individuais, além de propiciar o conhecimento da produção de biomassa de diferentes espécies florestais, normalmente é feita com intuito de verificar, também, a eficiência nutricional de plantas e observar o desenvolvimento das raízes das plantas em

diferentes condições de crescimento (FERREIRA, 1984; MORAIS, 1988; GOMES, 1993).

O método direto ou destrutivo, de acordo com BOHM (1979), é o mais apropriado para o estudo de quantificação de biomassa do sistema radicular, uma vez que permite a pesagem imediata e a medição das raízes após a sua retirada do solo, podendo-se, com isso, obter o peso das raízes por classe de tamanho. Os métodos diretos mais utilizados no estudo de raízes, segundo esse autor, são a escavação, a amostragem por monolitos e a tradagem.

A escavação consiste em expor total ou parcialmente o sistema radicular, por meio da remoção cuidadosa do solo, para não causar danos às raízes. Além de quantificar o sistema radicular, permite estudar a distribuição natural das raízes no solo, bem como sua forma e cor. A principal desvantagem desse procedimento está no fato de haver um grande dispêndio de tempo para a sua realização (BOHM, 1979).

FERREIRA (1984), estudando o sistema radicular de plantios de *E. grandis*, e LELES (2001), avaliando o sistema radicular de *E. grandis* e *E. pellita*, utilizaram o método de escavação, em que 1/4 da área útil da planta foi escavada até 40 cm de profundidade – para as raízes pivotantes a escavação se deu, em algumas árvores, até a profundidade de 1,5 m. Também empregando o método de escavação para estudar o sistema radicular de plantios de eucalipto, GOMES (1993) escavou 1/4, 1/8 e 1/16 da área útil ocupada pela planta até as profundidades de 20, 40 e 80 cm, respectivamente. As raízes pivotantes foram escavadas até 1,0 m de profundidade. Em todos os trabalhos, foram retiradas amostras de raízes para determinar os teores de umidade em laboratório e, conseqüentemente, a biomassa do conjunto de raízes.

A amostragem por monolitos, segundo BOHM (1979), consiste na retirada de monolitos (blocos) de solo, contendo raízes. Eles podem ser de forma retangular, quadrada ou circular, sendo utilizado aquele de maior facilidade de uso e mais apropriado. A principal vantagem desse método, de acordo com esse autor, é que ele permite fazer uma avaliação precisa da distribuição vertical e horizontal do sistema radicular, bem como a obtenção da massa de raízes por classe de tamanho por monolito. No entanto, apresenta

como desvantagem o dispêndio muito grande de tempo na movimentação e no peneiramento de terra.

A tradagem consiste na retirada de amostra de solo-raiz, por meio de trados, sem a abertura de valas ou trincheiras. Como os trados possuem diferentes tamanhos e diâmetros, podem-se retirar amostras em diferentes profundidades e de diferentes volumes, sendo, portanto, ajustável conforme a espécie vegetal e as condições de experimentação. O método de tradagem é muito eficiente para a determinação de biomassa de raízes finas, é fácil de ser empregado, causa pouco distúrbio na área de estudo e economiza tempo e mão-de-obra. Contudo, ele apresenta limitações quando usado em solos pesados, compactados ou pedregosos, não permite o estudo da morfologia dos sistemas radiculares e tem inconveniente operacional quando é usado em profundidades superiores a 1,0 m (BOHM, 1979).

3.2.1.1.4. Manta orgânica

Na determinação da biomassa do material orgânico que será depositado durante um certo período de tempo, são utilizadas caixas coletoras dispostas aleatoriamente entre as árvores da floresta. Todo o material depositado dentro dessas caixas, durante um certo período de tempo, é pesado e uma parte dele é amostrada para ser levada ao laboratório, para análises do teor de umidade. Nos trabalhos de FERREIRA (1984) e PEREIRA (1990), as caixas coletoras possuíam 1 m² de base, 10 cm de altura, fundo de náilon e ficavam suspensas cerca de 50 cm de altura.

No entanto, quando se deseja conhecer a quantidade de material orgânico que será depositado sobre o solo, são utilizadas pequenas parcelas retangulares de madeira, denominadas gabaritos, que variam de 30 a 50 cm de lado, dispostas entre as árvores. Da mesma forma que as caixas coletoras, todo o material depositado sobre o solo é pesado, sendo uma parte dele levada ao laboratório, para as análises (FERREIRA, 1984; MOLLICA, 1992).

3.2.1.1.5. Sub-bosque

Considerando o sub-bosque ou regeneração natural os indivíduos com diâmetro inferior a um diâmetro-limite de utilização ou com altura menor que

uma dada altura mínima, são empregadas parcelas entre 1 e 4 m² de área (1 x 1 ou 2 x 2 m) aproximadamente para amostrar essa porção da floresta. Dentro dessas parcelas delimitadas no campo, todas as plantas são cortadas e pesadas, obtendo-se, dessa maneira, o peso verde (úmido) da vegetação. Uma amostra dessa vegetação é retirada e levada ao laboratório para determinação do teor de umidade (SANQUETTA, 2002).

3.2.1.2. Métodos indiretos

Normalmente as florestas, sejam elas naturais ou plantadas, possuem áreas relativamente grandes ou um grande número de indivíduos por unidade de área, de tal forma que os métodos indiretos são preferencialmente utilizados, a fim de facilitar o trabalho e diminuir o custo de coleta de dados de campo. Dentre os métodos indiretos para a quantificação da biomassa destaca-se o uso de modelos de regressão, que permitem estimar a biomassa de diferentes partes das árvores.

3.2.1.2.1. Modelos de regressão

Modelos de regressão lineares ou não-lineares normalmente utilizam como variáveis independentes as características diretamente mensuráveis das árvores-amostra e, como variável dependente, a biomassa, expressa pelo peso seco dos seus componentes. Para estimar a biomassa, segundo CAMPOS e VALENTE (1993), as variáveis independentes mais empregadas nos modelos são o diâmetro com casca a 1,30 m (*dap*), a altura total e o volume. Outras variáveis são ocasionalmente utilizadas, como a idade, o índice de local e a largura da copa. De acordo com Satoo e Madgwich, citados por FERREIRA (1984), essas variáveis não são suficientes para estimar a biomassa dos componentes da copa da árvore, tornando necessário incluir no modelo o comprimento da copa e o diâmetro do tronco na base da copa, uma vez que este último está muito relacionado com a resistência mecânica requerida para suportar o peso da copa da árvore.

A fim de estimar a biomassa da casca, do caule e da raiz das árvores em povoamentos de eucalipto, FERREIRA (1984) utilizou equações

logarítmicas, em que as variáveis de maior significância foram o logaritmo natural do diâmetro da árvore (*dap*) e o logaritmo da variável combinada: diâmetro ao quadrado multiplicado pela altura da árvore. Para galhos e folhas, foram usados modelos aritméticos, que envolviam o *dap*, o quadrado da altura total e a idade dos povoamentos.

FINKE HERRERA (1989) cita vários autores e os respectivos modelos utilizados para estimar o peso seco das árvores individuais. Segundo o autor, os modelos que melhor se ajustaram para estimar o peso seco do tronco (biomassa) foram os de SCHUMACHER e HALL (1933), na sua forma logarítmica (linearizada) e da variável combinada.

SOARES (1995), em estudo sobre a seleção de modelos para estimar a biomassa de folhas, de galhos e do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis*, concluiu que os melhores foram aqueles cujas variáveis dependentes e independentes estavam logaritmizadas.

3.2.2. Determinação da biomassa

A biomassa de folhas, galhos e raízes das árvores-amostra, bem como a biomassa dentro das parcelas usadas para amostrar a manta orgânica e o sub-bosque, podem ser obtidas pela seguinte expressão (SILVA, 1983; FERREIRA, 1984; PEREIRA, 1990; MOLLICA, 1992; SOARES, 1995):

$$PS(c) = \frac{PU(c) * PS(a)}{PU(a)} \quad (1)$$

em que

PS(c) = biomassa, em kg;

PU(c) = peso úmido de folhas, galhos, raízes, manta orgânica e sub-bosque, no campo, em kg;

PU(a) = peso úmido da amostra levada ao laboratório, em kg; e

PS(a) = peso seco da amostra, em kg.

A biomassa da madeira e da casca dos fustes das árvores-amostra pode ser obtida pela seguinte expressão (VITAL et al., 1995; FINKE HERRERA, 1989; SOUZA, 1989):

$$PS(c) = V * (DBMT \text{ ou } DBC) \quad (2)$$

em que

$PS(c)$ = biomassa da madeira ou da casca, em kg;

V = volume de madeira ou da casca, em m^3 ;

$DBMT$ = densidade básica média da madeira, em kg/m^3 ; e

DBC = densidade básica da casca, em kg/m^3 .

3.2.3. Estimativa da biomassa em florestas

Quando são utilizadas árvores como unidades de amostra, pode-se empregar o método da árvore-modelo única, descrito por GOMES (1957). Neste método, seleciona-se uma árvore cujo *dap* seja igual ao diâmetro quadrático para representar um conjunto de árvores do povoamento. Assim, a estimativa da biomassa referente às árvores do povoamento será obtida multiplicando-se a biomassa da árvore-modelo pelo número de árvores do povoamento, conforme a seguinte expressão:

$$BT = B * N \quad (3)$$

em que

BT = biomassa total, em kg;

B = biomassa da árvore-modelo, em kg; e

N = número de árvores da floresta.

Como refinamento do método da árvore-modelo única, podem-se dividir as árvores do povoamento em classes de diâmetro e utilizar árvores-modelo igualmente distribuídas pelas classes (método de Hossfeld) ou proporcionalmente, nas respectivas freqüências das classes (método de Draudt), ou, ainda, utilizar um mesmo número de árvores-modelo distribuídas por grupos de igual freqüência ou área basal (métodos de Urich e Hartig) (GOMES, 1957). Nestes casos, a biomassa total será obtida pela seguinte expressão:

$$BT = \sum_{j=1}^n B_j \cdot N_j \quad (4)$$

em que

BT = biomassa total, em kg;

B_i = biomassa da i -ésima árvore-modelo, em kg; e
 N_i = número de árvores da i -ésima classe de diâmetro.
 $i = 1, 2 \dots n$.

Para a manta orgânica e o sub-bosque, a estimativa de biomassa total de cada um destes compartimentos da floresta pode ser obtida de acordo com a seguinte expressão (WHITTAKER e WOODWELL, 1971):

$$BT = \frac{B.AF}{AA} \quad (5)$$

em que

BT = biomassa total, em kg;

B = biomassa total na área amostrada, em kg;

AF = área da floresta, em ha; e

AA = área amostrada, em ha.

Alternativamente, podem-se utilizar procedimentos de amostragem, em inventários florestais, para obter estimativas do estoque de biomassa. Neste caso, unidades de amostra de área fixa ou de raio variável devem ser selecionadas sem tendências, para que estimativas de diferentes parâmetros populacionais sejam precisas. Além disso, a amostra deve possuir um tamanho suficiente para garantir essa precisão (HUSCH et al., 1993).

Quando são utilizadas parcelas de área fixa como unidades de amostra, deve-se definir o tamanho e a forma das unidades.

A definição do número de unidades de amostra que deverão ser selecionadas (tamanho da amostra) se dá em função de considerações econômicas e estatísticas, como a variabilidade da população, o erro de amostragem admissível e o nível de probabilidade (PELLICO NETTO e BRENA, 1997).

De posse das estimativas de biomassa das unidades de amostra, pode-se calcular a estimativa total da biomassa na população, bem como a precisão desta estimativa, por meio de estimadores apropriados ao método de seleção e alocação das unidades.

3.2.4. Estimativa do estoque de carbono em florestas

Segundo MARTINELLI et al. (1994), o estoque de carbono fixado em uma floresta pode ser obtido, de maneira simplificada, pela seguinte expressão:

$$C (t) = A (ha) * B (t/ha) * C (%) \quad (6)$$

em que

$C (t)$ = estoque de carbono, em toneladas;

$A (ha)$ = área da floresta, em hectares;

$B (t/ha)$ = estoque de biomassa na floresta, em toneladas de matéria seca por hectare; e

$C (%)$ = teor de carbono na biomassa.

Para povoamentos florestais homogêneos, plantados em espaçamentos definidos, as áreas de plantios podem ser conhecidas com precisão de décimos de hectare. Para grandes maciços florestais naturais, como, por exemplo, na Amazônia, as estimativas podem ser feitas por imagens de satélite ou por fotografias aéreas, através da delimitação das linhas de contorno dos ecossistemas (SALATI, 1994).

As estimativas do estoque de carbono podem ser obtidas pela utilização dos métodos descritos no item 3.2.3, com diferentes graus de precisão.

O teor de carbono pode ser obtido através de análises químicas. Segundo a literatura, o teor de carbono elementar, presente na constituição da matéria seca (biomassa) de diferentes partes da árvore, está em torno de 50%, isto é, para cada tonelada de matéria seca, cerca de 0,5 tonelada é apenas de carbono. Em muitos trabalhos científicos foi verificado um teor médio de carbono para tronco, galhos, folhas e raízes de árvores de *Eucalyptus*, plantadas no cerrado do Estado de Minas Gerais, de 46,8, 47,7, 50,5 e 46,4%, respectivamente. Os valores encontrados se aproximaram do teor médio normalmente utilizado (50%). HIGUCHI e CARVALHO JR. (1994) encontraram um teor médio de carbono na manta orgânica de uma floresta tropical úmida densa de Terra-Firme igual a 39,3%. Em plântulas menores que 50 cm de altura, em mudas (indivíduos com altura maior que 50 cm e com menor de 5,0 cm de *dap*) e em galhos finos, os teores médios de carbono foram de 46,5,

49,3 e 46,8%, respectivamente. Esses mesmos autores encontraram os teores médios de carbono na base e no topo dos troncos de diferentes espécies arbóreas da região. Em média, o teor de carbono na base dos troncos foi de 48,5% e, no topo destes, de 48,2%.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus grandis* com 5,0 ha de área, 72 meses de idade e espaçamento inicial de plantio igual a 3x2 m, que se encontra em regime de alto fuste, originado de sementes, localizado no município de Viçosa, Minas Gerais (latitude 20°45'S, longitude W. Gr 42°52' e altitude média de 649 metros).

Segundo GOLFARI (1975), o clima característico da região de Viçosa é o CWA (KÖPPEN); as temperaturas média, máxima e mínima são de 20,9, 24 e 17 °C, respectivamente; a umidade relativa do ar gira em torno de 81%; e a precipitação média anual é de 1.300 mm.

4.2. Coleta e análise de dados

4.2.1. Estimativa volumétrica

De posse de um mapa da área de estudo, procedeu-se inicialmente à estratificação da população com base na topografia do terreno (baixada e encosta), sendo lançadas oito parcelas de 400 m² (20 x 20 m) de área, com o objetivo de captar a variabilidade natural do povoamento, de modo a fornecer estimativas médias de volume e de carbono para o povoamento de eucalipto. Em cada parcela, foram medidos os diâmetros com casca a 1,3 m do solo

(*dap*) de todas as árvores com diâmetros iguais ou maiores que 5,0 cm e a altura total (*Ht*) das dez primeiras árvores, objetivando o ajuste de uma equação hipsométrica. O modelo hipsométrico ajustado foi:

$$LNHt = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap} \right) + \varepsilon \quad (7)$$

Os volumes das árvores individuais, para diferentes usos, ou seja, até diferentes diâmetros-limite de utilização, foram obtidos através do modelo KOZAK et al. (1969), assim representado:

$$\left(\frac{d}{dap} \right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \times \left(\frac{h}{Ht} \right) + \beta_2 \times \left(\frac{h}{Ht} \right)^2 + \varepsilon \quad (8)$$

em que

d = diâmetro-limite de utilização, em cm;

dap = diâmetro com casca a 1,30 m de altura, em cm;

h = altura em que ocorre um determinado diâmetro (*d*), em m;

Ht = altura total, em m;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; e

ε = erro aleatório.

A expressão para a obtenção do volume com casca e sem casca até um diâmetro *d* qualquer do modelo de KOZAK et al. (1969) é assim definida:

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} \times dap^2 \left[\hat{\beta}_0 \times (h_2 - h_1) + \hat{\beta}_1 \times \left(\frac{h_2^2 - h_1^2}{2Ht} \right) + \hat{\beta}_2 \times \left(\frac{h_2^3 - h_1^3}{3Ht^2} \right) \right]$$

(9)

em que

*h*₁ = altura mínima a ser considerada – neste caso, *h*₁ = 0 (nível do solo); e

*h*₂ = altura em que ocorre um determinado diâmetro *d*.

Os diâmetros-limite de utilização (*d*) e os respectivos usos da madeira, neste estudo, foram (Quadro 4):

Quadro 4 – Diâmetros-limite de utilização para os diferentes usos

Uso	d _{cc} (cm)
Carvão	3
Serraria*	15

cc = com casca.

* sarrafo: 2,5 x 5,0 cm; 2,5 x 7,5 cm; 2,5 x 10,0 cm; 2,5 x 15,0 cm. A primeira medida refere-se à largura e a segunda, à espessura.

O modelo de *taper* foi ajustado utilizando dados obtidos por SOARES e PAULA NETO (1997), em um procedimento de cubagem rigorosa de árvores de *Eucalyptus grandis*, em um povoamento florestal localizado próximo à área de estudo e de idade aproximada.

Os critérios adotados para avaliação do ajuste da equação hipsométrica e da equação de *taper* foram: coeficiente de determinação ajustado (R²); coeficiente de variação; e análise gráfica dos resíduos percentuais.

4.2.2. Estimativas do estoque de carbono

As estimativas de carbono presentes no conjunto de folhas e galhos e no fuste de cada árvore foram obtidas pelas seguintes equações (SOARES e OLIVEIRA, 2002):

- Fuste (sem casca):

$$\ln(Y) = -6,966833 + 1,587810 \times \ln(dap) + 2,000404 \times \ln(Ht) \quad (10)$$

$$R^2 = 98,82 \% \quad CV = 16,30\%$$

- Fuste (com casca):

$$\ln(Y) = -6,609865 + 1,661056 \times \ln(dap) + 1,851121 \times \ln(Ht) \quad (11)$$

$$R^2 = 98,90 \% \quad CV = 14,98\%$$

- Galhos:

$$\ln(Y) = -1,695267 + 3,888792 \times \ln(dap) - 2,492777 \times \ln(Ht) \quad (12)$$

$$R^2 = 88,27 \% \quad CV = 39,37\%$$

- Folhas:

$$\ln(Y) = -6,649474 + 2,273838 \times \ln(dap) - 0,1555153 \times \ln(Ht) \quad (13)$$

$$R^2 = 85,40 \% \quad CV = 57,33\%$$

De posse das equações de *taper* e de carbono para as diferentes partes das árvores, totalizaram-se as oito parcelas, obtendo-se as estimativas médias dos volumes por hectare (carvão e serraria), bem como as estimativas médias do estoque de carbono na parte aérea das árvores (fuste, galhos e folhas).

Considerando o carbono da parte aérea como sendo 67,06% do carbono total armazenado em uma floresta de eucalipto com 6 anos de idade, de acordo como o Quadro 1 (somatório do percentual de biomassa contida em tronco, casca, galhos e folhas, na classe de idade entre 4,1 e 7,0 anos), do item 3.2, a estimativa média do carbono total foi obtida da seguinte expressão:

$$CTotal = CParteaérea \times \frac{100}{67,06} \quad (14)$$

Ainda de acordo com o Quadro 1, a manta orgânica (CMO) e o sistema radicular (CSR) contribuem, em média, com 12,26 e 20,69% do carbono total, respectivamente. Assim, as estimativas médias do carbono por hectare armazenado nesses compartimentos de floresta foram obtidas pelas seguintes expressões:

$$CMO = CTotal \times 0,1226 \quad (15)$$

$$CSR = CTotal \times 0,2069 \quad (16)$$

4.2.3. Alternativas de uso

Com as estimativas médias dos volumes por hectare para diferentes usos e a estimativa média do carbono total estocado por hectare, procedeu-se à análise econômica das seguintes alternativas de uso (Quadro 5).

Quadro 5 – Alternativas de uso

Alternativa	Descrição
1	Carvão
2	Carvão + Serraria
3	Carbono Total
4	Carvão + Carbono Total
5	Carvão + Serraria + Carbono Total

A inclusão do carbono total nas receitas das alternativas 4 e 5 teve como objetivo verificar a agregação de valor do carbono estocado, considerando-o como um produto alternativo da atividade florestal tradicional.

4.3. Análise econômica

Na análise econômica foram considerados as atividades e os custos por hectare mostrados no Quadro 6, referentes a um projeto de reflorestamento definido como de baixa tecnologia, com reduzido uso de máquinas, equipamentos e insumos em sua implantação.

O horizonte de planejamento foi igual à idade do povoamento (6 anos); os preços para a madeira em pé (CEPEA, 2003) e para o carbono estocado são apresentados no Quadro 7.

Quadro 6 – Custos operacionais anuais

Ano	Atividade	Custo (US\$/ha)
0	Plantio	342,41
1,...,6	Custo Anual da Terra	37,42
1	1ª Manutenção	95,40
2	2ª Manutenção	28,13
3	3ª Manutenção	24,48
4	4ª Manutenção	24,48
5	5ª Manutenção	24,48
6	6ª Manutenção	24,48
Total		863,21

Quadro 7 – Preços para a madeira em pé

Item	Preço	
	(US\$/m ³)	(US\$/t)
Madeira para Carvão	7,17	
Madeira para Serraria*	17,05	
Créditos de Carbono		10,00

* sarrafo: 2,5 x 5,0 cm; 2,5 x 7,5 cm; 2,5 x 10,0 cm; e 2,5 x 15,0 cm. A primeira medida refere-se à largura e a segunda, à espessura.

As receitas por hectare, referentes à venda de madeira, foram obtidas multiplicando-se os respectivos preços pelos volumes médios por hectare. A

receita auferida pelos créditos de carbono foi obtida multiplicando-se a estimativa média do total estocado pelo respectivo preço por tonelada.

Para efeito deste estudo, considerou-se não haver restrições de demanda no mercado para os diferentes produtos avaliados e que toda a quantidade de carbono estocada pudesse ser convertida em créditos de carbono, ou seja, que a linha de base do projeto fosse o solo sem carbono estocado sobre ele. A validade ou não dos créditos de carbono não foi considerada no estudo, pois o objetivo deste foi avaliar o potencial de armazenamento de carbono pelas florestas, para possíveis negociações com créditos de carbono.

Os critérios quantitativos considerados para análise econômica foram: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Esperado da Terra (VET), que consideram o valor do capital no tempo (SILVA et al., 2002). A taxa de juros comumente utilizada na avaliação econômica de atividades florestais tem variado de 6 a 12% ao ano (LIMA JUNIOR, 1995). Assim, a taxa de desconto considerada foi de 10% ao ano.

Como complemento, foram feitas análises de sensibilidade, identificando pontos de nivelamento entre os diferentes usos, pela variação dos custos e preços em amplitude de $\pm 20\%$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Equação hipsométrica

De posse dos dados de *dap* e altura total, obtidos no inventário florestal, ajustou-se a seguinte equação hipsométrica:

$$LNHt = 3,684694 - 8,689422 \times \frac{1}{dap} \quad (17)$$

$$R^2 = 61\% \quad CV = 17,89\%$$

Pela distribuição dos resíduos percentuais, na Figura 1, verifica-se que eles estão distribuídos uniformemente, não apresentando tendência de heterocedasticidade.

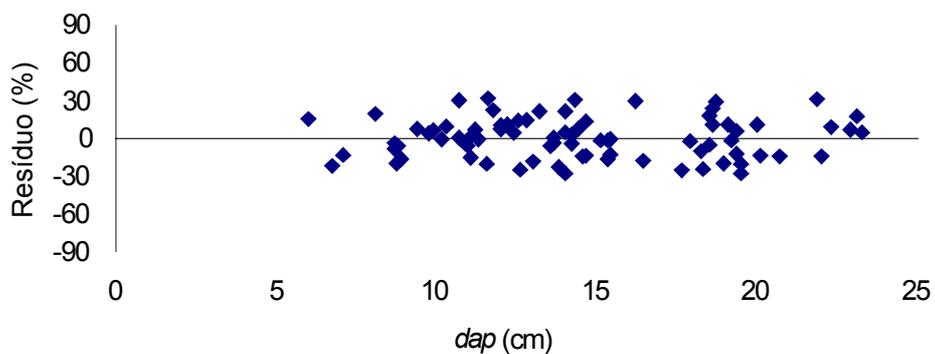


Figura 1 – Distribuição dos resíduos percentuais para a equação hipsométrica.

5.2. Equação de *Taper*

O Quadro 8 apresenta as estimativas dos parâmetros e as respectivas medidas de precisão, obtidas para o volume com casca.

Quadro 8 – Estimativas dos parâmetros para o modelo de KOZAK et al. (1969) e suas medidas de precisão

Volume	β_0	β_1	β_2	CV (%)	R ² (%)
Com casca	1,1314	-1,8368	0,7325	16,57	93,7

Pela análise gráfica dos resíduos (Figura 2), observou-se uma leve tendência de superestimação dos volumes com casca e sem casca de árvores de maiores diâmetros ($dap > 20$ cm).

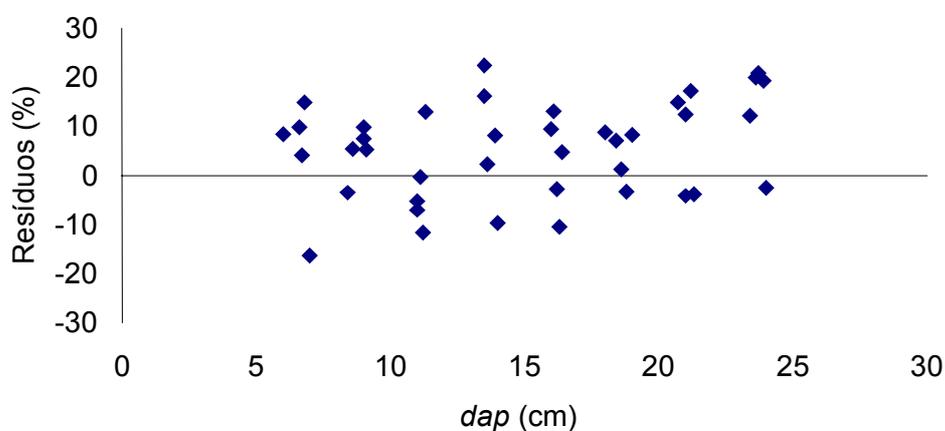


Figura 2 – Distribuição dos resíduos percentuais para o modelo de KOZAK et al. (1969) (volume com casca).

5.3. Estimativas do estoque de carbono

Com as equações apresentadas no item 4.2.2, as unidades de amostra (parcelas) foram totalizadas, obtendo-se as estimativas médias de carbono estocado por hectare para fuste (sem casca), casca, galhos e folhas apresentadas na Figura 3.

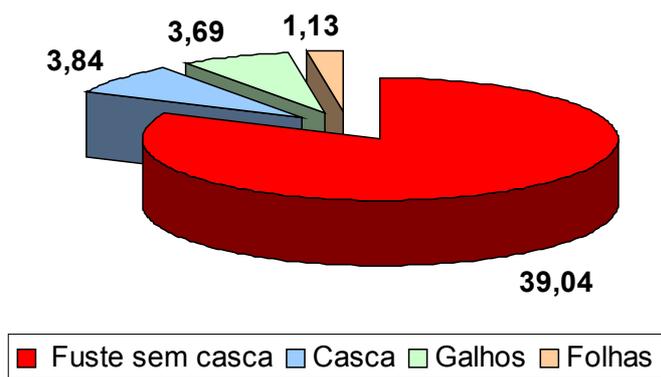


Figura 3 – Estimativas médias de carbono estocado por hectare em folhas, galhos, fuste sem casca e casca.

Analisando a Figura 4, verifica-se que o povoamento de eucalipto estudado possui, em média, 47,7 toneladas de carbono por hectare, estocadas na parte aérea das árvores. Como esta estimativa representa, em média, 67,06% do carbono estocado na floresta, o carbono total será igual a 71,13 toneladas por hectare, das quais 14,71 (20,68% do carbono total) estão estocadas nas raízes e 8,72 (12,26% do carbono total) na manta orgânica. Considerando que a floresta de eucalipto possui 6 anos de idade, isso representa um incremento médio anual de 11,85 toneladas de carbono por hectare, por ano, até esta idade.

Considerando ainda o preço de US\$ 10,00 por tonelada de carbono estocado e a estimativa do total de carbono estocado por hectare, ter-se-ia uma receita de US\$ 711,30/ha.

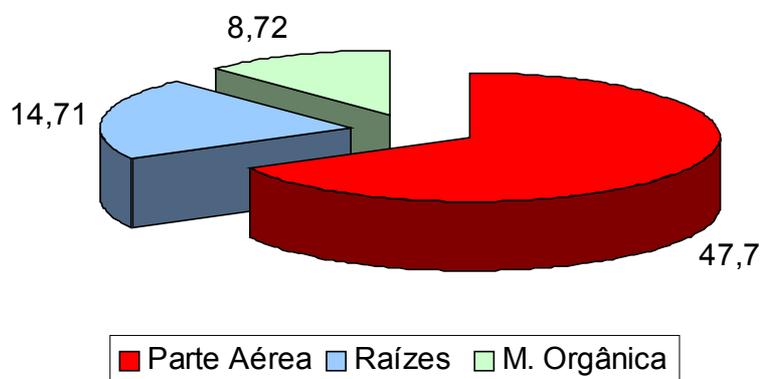


Figura 4 – Estimativas do carbono estocado por hectare na parte aérea das árvores, nas raízes e na manta orgânica.

Analisando a distribuição do carbono estocado nos componentes da parte aérea das árvores em diferentes classes de diâmetro (Quadro 9) e a contribuição em termos percentuais (Quadro 10), observa-se que, quanto maior o tamanho das árvores, maior é a quantidade de carbono estocada. No entanto, a contribuição percentual tende a decrescer para a casca, os galhos e as folhas. Apenas para o fuste sem casca o percentual tende a aumentar. Em média, o fuste sem casca contribui com 81,84% do carbono total da parte aérea; a casca, com 8,05%; os galhos, com 7,74%; e as folhas, com 2,37%.

Quadro 9 – Carbono estocado em diferentes compartimentos da parte aérea das árvores, em diferentes classes de *dap*

Classe de Diâmetro	Média		Carbono (kg)				Total
	<i>dap</i> (cm)	Altura (m)	Fuste ^{1/}	Casca	Galhos	Folhas	
5,0 – 6,9	6,28	9,95	1,82	0,28	0,76	0,12	2,99
7,0 – 8,9	8,00	13,41	4,75	0,61	0,93	0,22	6,51
9,0 – 10,9	10,02	16,71	10,38	1,15	1,28	0,38	13,19
11,0 – 12,9	11,95	19,23	18,09	1,84	1,79	0,58	22,31
13,0 – 14,9	13,96	21,36	28,41	2,77	2,52	0,84	34,54
15,0 – 16,99	15,96	23,10	41,10	3,92	3,50	1,15	49,67
17,0 – 18,9	18,00	24,57	56,22	5,34	4,79	1,52	67,87
19,0 – 20,9	19,83	25,69	71,61	6,83	6,24	1,91	86,59
21,0 – 22,9	22,08	26,87	92,91	8,99	8,48	2,46	112,83
23,0 – 24,9	23,43	27,48	106,73	10,44	10,08	2,82	130,06
25,0 – 26,9	25,20	28,22	126,20	12,54	12,52	3,34	154,61
27,0 – 28,9	27,43	29,02	152,79	15,52	16,26	4,07	188,64
Média	16,85	22,13	5,925	5,85	5,76	1,62	72,48

^{1/} Fuste = sem casca.

Quadro 10 – Contribuição percentual do carbono estocado em diferentes compartimentos da parte aérea das árvores, em diferentes classes de *dap*

Classe de Diâmetro	Média		Carbono (%)				Total
	<i>dap</i> (cm)	Altura (m)	Fuste ^{1/}	Casca	Galhos	Folhas	
5,0 – 6,9	6,28	9,95	60,90	9,51	25,50	4,09	2,99
7,0 – 8,9	8,00	13,41	73,04	9,33	14,23	3,41	6,51
9,0 – 10,9	10,02	16,71	78,68	8,70	9,73	2,89	13,19
11,0 – 12,9	11,95	19,23	81,09	8,27	8,05	2,60	22,31
13,0 – 14,9	13,96	21,36	82,26	8,01	7,31	2,42	34,54
15,0 – 16,99	15,96	23,10	82,75	7,89	7,05	2,31	49,67
17,0 – 18,9	18,00	24,57	82,83	7,87	7,05	2,25	67,87
19,0 – 20,9	19,83	25,69	82,70	7,89	7,20	2,21	86,59
21,0 – 22,9	22,08	26,87	82,34	7,97	7,51	2,18	112,83
23,0 – 24,9	23,43	27,48	82,06	8,03	7,75	2,17	130,06
25,0 – 26,9	25,20	28,22	81,63	8,11	8,10	2,16	154,61
27,0 – 28,9	27,43	29,02	80,99	8,23	8,62	2,16	188,64
Média	16,85	22,13	81,84	8,05	7,74	2,37	72,48

^{1/} Fuste = sem casca.

5.4. Estimativas volumétricas

Os volumes totalizados, por parcela, considerando os diferentes diâmetros de utilização da madeira, bem como o erro de amostragem para o volume total de madeira, do inventário florestal (e%), são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 – Volumes por parcela, estimativas médias e erro de amostragem

Parcela	Volume (m ³)	
	Carvão	Serraria
1	5,16	0,71
2	8,32	2,34
3	6,55	1,26
4	10,63	4,73
5	6,44	1,94
6	7,05	2,63
7	12,07	7,39
8	10,70	5,07
Total	66,92	26,06
Média*/parcela	8,16	3,06
m ³ /ha	204,09	76,49
E (%)		16,94

* Média ponderada pela área dos estratos (E1 = 4,0 ha; E2 = 1,0 ha).

Com as estimativas mostradas no quadro anterior, obteve-se a estimativa de volume por hectare para as diferentes alternativas de uso da madeira, o que pode ser visto no Quadro 12.

Quadro 12 – Estimativas médias dos volumes por hectare para diferentes alternativas de uso da madeira

Alternativa	Descrição	Volume (m ³ /ha)
1	Carvão	204,09
2	Carvão + Serraria	127,60 + 76,49

Considerando os dois usos para a madeira (carvão e serraria), do total de 204,09 m³/ha, 62,52% seriam destinados à produção de carvão e 37,48% à produção de madeira serrada.

Levando-se em conta os preços médios do metro cúbico da madeira em pé para a produção de carvão e serraria iguais a US\$ 7,17 e U\$ 17,05, respectivamente, e os volumes médios por hectare para os diferentes usos, ter-se-iam as seguintes receitas apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13 – Receitas por hectare para as diferentes alternativas de uso da madeira

Alternativa	Descrição	Receita (US\$/ha)
1	Carvão	1.463,32
2	Carvão + Serraria	2.219,04

5.5. Análise econômica

A análise do Quadro 14 mostra que os projetos 1 (carvão), 2 (carvão e serraria), 4 (carvão e carbono total) e 5 (carvão, serraria e carbono total) são considerados viáveis, pois possuem VPLs positivos. O projeto 5 é considerado o melhor, por apresentar o maior VPL e VET, ou seja, apresenta maior retorno econômico comparado ao dos demais. Isso se deve, obviamente, ao maior valor agregado pela diversificação da produção (carvão e serraria) e à venda de créditos de carbono.

As TIRs (Taxa Interna de Retorno) foram calculadas apenas para os projetos 1 e 2, uma vez que para os demais as receitas auferidas no ano zero (0) superam os custos descontados nesse mesmo ano, de tal forma que não existe uma taxa que anule o VPL. Com base neste critério, os projetos 1 e 2 apresentaram TIRs maiores do que a taxa de desconto, sendo, portanto, considerados viáveis.

Embora o preço da tonelada de carbono por hectare seja menor do que o metro cúbico de madeira para serraria, verifica-se, no Quadro 14, que o VPL do projeto 4 é maior que o do projeto 2. Esse aumento no VPL se deve ao fato de as receitas auferidas pela venda de créditos de carbono se efetivarem no início do projeto (ano 0), enquanto a receita auferida pela venda da madeira para a serraria ocorre no final da rotação (sexto ano).

Quadro 14 – Estimativas do valor presente líquido (VPL) e valor esperado da terra (VET), considerando uma taxa de desconto igual a 10,00% a.a., e taxa interna de retorno (TIR)

Projeto	Descrição	VPL	TIR	VET
1	Carvão	109,10	13,34	624,71
2	Carvão + serraria	535,68	23,37	1.604,18
3	Carbono total	-5,61	10,67	361,33
4	Carvão + carbono total	820,40	-	2.257,90
5	Carvão + serraria + carbono total	1.246,98	-	3.237,37

O Quadro 14 mostra, ainda, que o VPL do projeto 3 é negativo, indicando que o reflorestamento destinado somente à venda de créditos de carbono no mercado, tendo em vista os custos, as receitas e o horizonte de planejamento considerado, é inviável economicamente, ou seja, os custos do empreendimento superam receitas advindas somente da venda dos créditos de carbono. No entanto, tendo em vista as estimativas obtidas para os critérios econômicos (VPL e TIR), verifica-se que um pequeno aumento no preço da tonelada de carbono ou uma pequena redução nos custos de produção tornam o projeto 3 economicamente viável.

O VET representa o preço máximo a ser pago pela terra nua. Os projetos 1, 2, 4 e 5 apresentaram VETs superiores ao preço da terra nua (US\$ 374,20), sendo, portanto, viáveis. Para o projeto 3, obteve-se um VET inferior ao preço da terra nua, sendo, portanto, considerado inviável. A possibilidade de aquisição de terras mais caras teria reflexos diretos sobre a produção, os custos de implantação e o transporte. A aquisição de terras mais férteis reduziria os custos de correção de solos, além de elas proporcionarem maior produção e, conseqüentemente, empreendimentos mais rentáveis. Da mesma forma, a possibilidade de aquisição de terras mais próximas de centros consumidores, ferrovias ou portos, para escoamento da produção, reduziria o custo com transporte e aumentaria também a rentabilidade do empreendimento florestal.

Vale ressaltar que o povoamento em estudo foi implantado com baixa tecnologia e em pequena escala. A adoção de tecnologias mais avançadas e em maior escala pode levar à redução do custo médio de produção (US\$/m³)

aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a taxa e o acúmulo final de CO₂ no povoamento.

5.6. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade, considerando o critério econômico VPL, foi realizada para todos os projetos (1 a 5), submetendo os custos, as receitas e as taxas de juros a variações de seus valores em $\pm 20\%$ (Quadro 15).

Quadro 15 – Análise de sensibilidade para o valor presente líquido (VPL)

Projeto	Variável	VPL		
		-20%	0	20%
1	Taxa Juros	187,36	109,10	40,81
	Custo Total de Produção	252,48	109,10	-34,28
	Receita Total	-56,10	109,10	274,30
2	Taxa Juros	663,60	535,68	423,68
	Custo Total de Produção	679,07	535,68	392,31
	Receita Total	285,16	535,68	786,20
3	Taxa Juros	-23,48	-5,61	10,74
	Custo Total de Produção	137,23	-5,61	-148,98
	Receita Total	-147,87	-5,61	136,65
4	Taxa Juros	898,66	820,40	752,10
	Custo Total de Produção	963,79	820,40	677,02
	Receita Total	512,94	820,40	1.127,86
5	Taxa Juros	1.374,90	1.246,98	1.134,98
	Custo Total de Produção	1.390,37	1.246,98	1.103,61
	Receita Total	824,20	1.246,98	1.639,76

Projeto 1 (Carvão)

Analisando o Quadro 15 e a Figura 6, verifica-se que o VPL foi sensível às variações percentuais no custo total, na receita total e na taxa de juros. Mantendo-se constante o custo de produção, o horizonte de planejamento de seis anos e a taxa de desconto de 10% a.a, o projeto 1 seria viável economicamente se o preço da madeira para a produção de carvão fosse superior a US\$ 6,21 por m³ (redução de 13,4% em relação ao valor inicial de US\$ 7,17 por m³). Sustentando-se o preço da madeira para produção de carvão em US\$ 7,17 (preço da madeira inicialmente adotado na análise econômica), o horizonte de planejamento de seis anos e a taxa de desconto de

10% a.a, o custo máximo de produção que viabiliza o projeto 1 seria de US\$ 952,14 por hectare (aumento de 13,27% em relação ao custo de produção inicialmente adotado, de US\$ 825,79 por hectare).

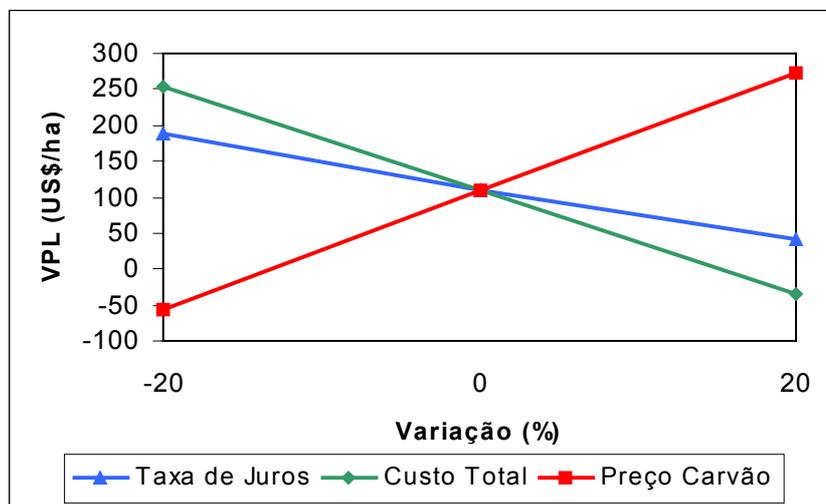


Figura 6 – Valores de VPL para o projeto 1, considerando as variações percentuais na taxa de juros, no custo total e no preço da madeira para carvão.

Projeto 3 (Carbono)

Reduções no custo total de produção viabilizam o projeto 3, da mesma forma que o aumento na receita total (Quadro 15 e Figura 7). Assim, mantendo-se constante o custo de produção, o horizonte de planejamento de seis anos e a taxa de desconto de 10% a.a, o projeto 3, ou seja, plantio de povoamentos visando o atendimento exclusivo do MDL (sem agregar valor à madeira), seria economicamente viável se os créditos de carbono fossem vendidos no mínimo por US\$ 10,07 a tonelada. Mantendo-se o preço da tonelada de carbono igual a US\$ 10,00 (preço da tonelada de carbono inicialmente adotado na análise econômica), o horizonte de planejamento igual a seis anos e a taxa de desconto de 10% a.a, o custo máximo de produção que viabiliza o projeto 3 seria de US\$ 819,35 por hectare (redução de 0,78% em relação ao custo de produção inicialmente adotado, de US\$ 825,79 por hectare).

A análise do Quadro 15 mostra ainda que variações percentuais na taxa de juros geram resultados com padrões diferentes dos demais projetos, porque as receitas com a venda de créditos de carbono auferidas no ano zero não sofrem desconto para cálculo do VPL. Já a descapitalização dos custos totais à taxa menor (8%) gera valores presentes maiores no ano zero, justificando assim o VPL ainda mais negativo.

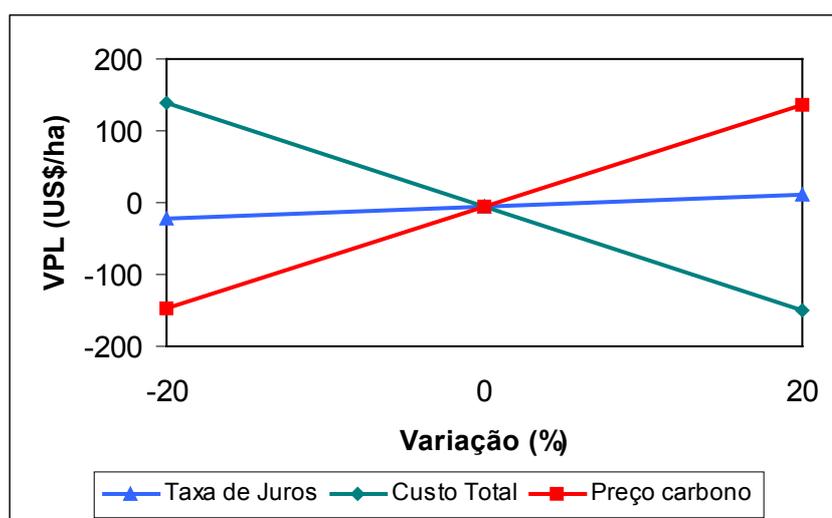


Figura 7 – Valores de VPL para o projeto 3, considerando as variações percentuais na taxa de juros, no custo total e no preço da tonelada de carbono.

Projetos 2, 4 e 5 (carvão + serraria; carvão + carbono total; carvão + serraria + carbono total)

Variações percentuais na taxa de juros, no custo total de produção e na receita tal não inviabilizam a execução dos projetos 2, 4 e 5; em todas as variações sofridas, o resultado final ainda é superior a qualquer resultado obtido no projeto 1, o que se deve à diversificação da produção, tornando o empreendimento mais seguro e menos sensível a variações de preços do mercado, bem como nos custos de produção.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido objetivando: quantificar o estoque de madeira para carvão e serraria; quantificar o estoque de biomassa expressa em toneladas de carbono, nos diferentes compartimentos de um povoamento de eucalipto; e avaliar economicamente alternativas de uso, com vistas à inserção de povoamentos florestais no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e à venda de créditos de carbono.

Assim, realizou-se um inventário florestal em um povoamento de *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade, no município de Viçosa, Minas Gerais, obtendo-se estimativas volumétricas por hectare para diferentes usos da madeira (carvão e serraria) e estimativas médias por hectare do estoque de carbono em diferentes compartimentos da floresta (parte aérea, manta orgânica e raízes). Após as análises, verificou-se que:

- O fuste é o componente da árvore que mais contribui, em média, para o total de carbono da parte aérea (81,84%), seguido por casca (8,05%), galhos (7,74%) e folhas (2,57%).
- No povoamento estudado, 47,7 toneladas de carbono por hectare estão estocadas na parte aérea das árvores; 14,71, nas raízes; e 8,72, na manta orgânica, totalizando 71,13 toneladas de carbono total por hectare, aos 6 anos de idade.

- Considerando um volume total de madeira de 204,09 m³/ha para os dois usos (serraria e carvão), 62,52% seriam destinados à produção de carvão e 37,48% à serraria.

- Levando-se em conta a estrutura de custos e as receitas adotadas neste estudo, a produção de madeira somente para a venda de créditos de carbono, sem considerar o seu uso final, é economicamente viável, segundo critérios quantitativos de avaliação do projeto (VPL, TIR e VET), se a tonelada de carbono for comercializada a preços maiores que U\$ 10,07.

- A utilização da madeira, considerando diferentes usos (serraria e carvão, por exemplo), acarreta maior valor agregado, tornando o empreendimento mais atrativo economicamente, mais seguro e menos sensível a variações de preços do mercado, bem como nos custos de produção.

- A inclusão da venda de créditos de carbono torna o empreendimento ainda mais atrativo economicamente, sobretudo porque a receita auferida no início do projeto reflete-se positivamente nos critérios de avaliação econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGBIDI, H. G.; JOKELA, E. J.; COMERFORD, N. B.; BARROS, N. F. Biomass development for intensively managed loblolly pine plantations growing on spodosols in the southeastern USA. **Forest Ecology and Management**, v. 167, p. 91-102, 2002.

ASSIS, R. L.; MOZART, M. F.; MORAIS, E. J.; FERNANDES, L. A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Efeito estufa e a conservação sobre mudança do clima**. Área de Planejamento Assessoria Especial de Meio Ambiente. Ministério da Ciência e Tecnologia. 1999.

BOHM, W. **Methods of studying roots system**. New York: Springer Verlag. 188 p. 1979.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. **Protocolo de Quioto**. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 1997.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; CARBONERA PEREIRA, J.; SANTOS, E. D. Produção de biomassa em uma procedência australiana de *Acácia mearnsii* De Wild. plantada no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 24, n. 2, p. 201-206, 2000.

CAMPOS, C. P. **A Conservação das florestas no Brasil, mudança do clima e mecanismo de desenvolvimento limpo**. [Rio de Janeiro] 2001. XII, 169. p. 29, (COPPE/UFRJ, M.S., Planejamento Energético, 2001)

CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Considerações sobre o inventário de povoamentos florestais, com ênfase na biomassa e na sua transformação em carvão vegetal. Viçosa; SIF, 1993. 19 p. (Boletim Técnico SIF, 1)

CAMPOS, M. A. A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*, avaliação na safra e na safrinha.** 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CARBONERA PEREIRA, J.; SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, M.; CALDEIRA, M. V. W.; SANTOS, E. M. Produção de biomassa em um povoamento de *Acácia mearnii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 521-526, 1997.

CENTRO CLIMA, 2002. Disponível em: <www.centroclima.org.br/mudanças.htm>. Acesso em: ago 2002.

CEPEA, 2003. Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br/economiaflorestal/informativo_mensal.htm>. Acesso em: set 2003.

CROMER, R. N.; RAUPACH, M.; CLARKE, A. R. P.; CAMERON, J. N. *Eucalyptus* plantations in Australia. The potential for intensive production. **Appita**, v. 29, p. 165-173, 1975.

FERREIRA, M. G. M. **An analysis of the productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “cerrado” region in Brasil: a nutrient cycling approach.** 1984. 230 f. Thesis (Ph. D.) – University of British Columbia, Vancouver, 1984.

FINKE HERRERA, M. E. **Densidade básica e equações de peso de madeira seca de povoamentos de eucaliptos de acordo com a idade, espécie e métodos de regeneração.** 1989. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

FLEAGLE, R. G.; BUSINGER, J. A. **Introduction to atmospheric physics.** 2.ed. New York. Academic Press, 1980. 432 p.

FORUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMATICAS, 2002. Disponível em: <www.forumclimabr.org.br/index.asp>. Acesso em: ago 2002.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado. 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).

GOMES, A. M. A. **Medição dos arvoredos.** 3.ed. Lisboa: Livraria Sá Costa, 1957. 413 p.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais.** 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.

- HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. A. Fitomassa, conteúdo e carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ - uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
- HOUGHTON, R. A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from change in land use 1850-1990. **Tellus**, 51 B, p. 298-313, 1999.
- HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3.ed. Florida: Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.
- JONG, B. H. J. Uncertainties in estimating the potential for carbon mitigation of forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 85-104, 2001.
- KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **The Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.
- KRAENZEL, M.; CASTILLO, A.; MOORE, T.; POTVIN, C. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. **Forest Ecology and Mangement**, v. 173, p. 213-225, 2003.
- KRÄUCHI, N. Climate change and Forest ecosystems - an overview. In: SCHLÄPFER, R. (Ed). Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems. **IUFRO World Series**, v. 4, p. 53-76, 1993.
- LACLAU, P. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypresses forest in northwest Patagonia. **Forest Ecology and mangement**, v. 175, p. 1-17, 2003.
- LADEIRA, B. C.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, v. 25, n.1, p. 69-78, 2001.
- LARCHER, W. **Olkologie der Pflanzen**. Stuttgart: Eugen Ulme Gmbh & Co, 1984. 320 p.
- LEITE, H. G. **Conversão de tronco em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, M.G. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LEXER, M. J.; HÖNNINGER, K.; SCHEIFINGER, H.; MATULLA, C. H.; GROLL, N.; KROMP-KOLB, H.; SCHADAURER, K.; STARLINGER, F.; ENGLISCH, M. **The sensitivity of the Austrian Forests to scenarios of climatic change: a large-scale risk assessment**. Umwltbundesamt, 2001. p. 132.

LIMA JUNIOR, V. B. **Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais**. 1995. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

LIOU, K. N. **An Introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press, 1980. 232 p.

MADEIRA, M. V.; FABIÃO A.; PEREIRA J. S.; ARAÚJO M. C.; C. RIBEIRO. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globules* labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. **Forest Ecology and mangement**, v. 171, p. 75-78, 2002.

MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; BROWN, I. F.; VICTORIA, R. L. Incertezas associadas às estimativas de biomassa em florestas tropicais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Decisão 19/COP 9 – Modalidades e procedimentos para atividades de projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/negoc/pdf>. Acesso em mar 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Relatório de referência das emissões e remoções de dióxido de carbono por mudanças no estoques de florestas plantadas. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/comunic-old/florestas2.htm>. Acesso em: dez 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Centro de Estudos Integrados sobre o Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. Critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade para avaliação de projetos que contribuam para mitigação de mudanças climáticas e para promoção do desenvolvimento sustentável. Abril de 2002. Brasília, 2002, 42 p. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/clima/doc/criterios.doc>. Acesso em: dez 2002.

MEIRELES, E. J. L. **Intensificação do Efeito Estufa associado a aumento nas concentrações dos gases CH₄, N₂O e CO₂**. 1994. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

MOLLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecífico de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 84 f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

MORAIS, E. J. **Crescimento e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

NUTTO, L.; WATZLAWICK, L. F.; GRAMMEL, R.; FENNER, T. P. O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANGUETA, C. R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002. p. 89-118.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434 p.

PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Edição dos autores. Volume 1, 1997. 316 p.

PEREIRA, A. R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região do cerrado**. 1990. 167 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P.; REZENDE, G. C.; BARROS, N. F. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.

RITSON, P.; SOCHACKI, S. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, south-western Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 103-117, 2003.

ROCHA, T. R. O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema. In: SANGUETA, C. R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002. p. 89-118.

SALATI, E. Sumário executivo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANGUETA, C.R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, Brasil: 2002. p.119-140.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber volume. **Journal of Agricultural Reserch**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulos* (labillardiere) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, v.11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SILVA, H. D. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies de *Eucalytus*, plantados em solo de baixa fertilidade**. 1983. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. Viçosa: UFV, 2002. 178 p.

SOARES, C. P. B. **Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais.** 1995. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. Determinação do tamanho da amostra em um inventário volumétrico e de biomassa de troncos. **Revista Ceres**, v. 44, n. 252, p. 142-151, 1997.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono presente na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SOUZA, R. N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** Viçosa: UFV, 1989. 88 p.

SPM -TAR WG2, 2001. Summary for Policymakers: **A report of working group ii of the intergovernmental panel on climate change.** Disponível em: <www.usgcrp.gov/ipcc/wg2spm.pdf>. Acesso em: ago 2002.

SR - LULUCF, 2000a. Special Report: **Land use, land-use change, and forestry. Intergovernmental panel of climate change.** Disponível em: <www.ipcc.ch/pub/reports.htm#sprep>. Acesso em: ago 2002.

SR - LULUCF, 2000b. Special Report: **Emissions scenarios. Intergovernmental panel of climate change.** Disponível em: <www.ipcc.ch/pub/reports.htm#sprep>. Acesso em: ago 2002.

TEIXEIRA, J. L.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; CAMPOS, J. C. C.; LEAL, P. G. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, n. 13, v. 1, p. 34-50, 1989.

THE SCIENCE OF CLIMATE CHANGE, 2001. **The Science of Climate Change.** Australian Academy of Sciences, Royal Flemish Academy of Belgium for Sciences and the Arts, Brazilian Academy of Sciences, Royal Society of Canada, Caribbean Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, French Academy of Science, German Academy of Natural Scientists Leopoldina, Indian National Science Academy, Indonesian Academy of Sciences, Royal Irish Academy, Council of the Royal Society of New Zealand, Royal Swedish Academy of Sciences, and Royal Society (UK). Disponível em: <www.royalsoc.ac.uk/templantes/statements>. Acesso em: ago 2002.

TREXLER, M. C. Manipulating biotic carbon sources and sinks for climate change mitigation: Can Science Keep up with practice? **Water Soil Pollut**, v. 70, p. 579-593, 1993.

UNFCCC, 1997. **Kyoto Protocol.** Disponível em: <www.unfccc.de/resource/protintr.html>. Acesso em: ago 2002.

VIANELLO, R. L. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

VITAL, B. R.; CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; TORQUATRO, M. C. Tabelas de peso seco para algumas espécies de eucalipto. Viçosa: SIF, 1995. 29 p. (Boletim Técnico SIF, 1)

WATSON, R. T.; ZINYOWERA, M. C.; MOSS, R. H. **The regional impacts of climate change**. An assessment of vulnerability. IPCC: Special Report on the Regional Impacts of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 517 p.

WINJUN, J. K.; DIXON, R. K.; SCHOROEDER, P. E. Estimating the global potential of forest and agroforest management practices to sequester carbon. **Water Air Soil Pollut**, v. 64, p. 213-222, 1992.

WHITTAKER, R. H.; WOODWELL, G. M. Measurement of net primary production of forest. In: DUVIGNEAUD, P (Ed.) **Productivity of forests ecosystems**. Paris, UNESCO. 1971. p. 159-175.

YU, C. M. Caracterização e tipologia do projetos de seqüestro de carbono no Brasil. In: SANGUETA, C. R. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002. p. 89-118.