

ISSN 0104-9046

Outubro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Gado de Leite*

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 23***

Estimativa do acúmulo de biomassa e carbono por sistema silvipastoril implantado em área montanhosa na Zona da Mata Mineira

Marcelo Dias Müller

Elizabeth Nogueira Fernandes

Carlos Renato Tavares de Castro

Domingos Sávio Campos Paciullo

Frederico de Freitas Alves

Embrapa Gado de Leite

Juiz de Fora, MG

2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Gado de Leite**

Rua Eugênio do Nascimento, 610 – Bairro Dom Bosco

36038-330 Juiz de Fora – MG

Fone: (32) 3249-4700

Fax: (32) 3249-4751

Home page: <http://www.cnppl.embrapa.br>

E-mail: [sac@cnppl.embrapa.br](mailto:sac@cnppl.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Embrapa Gado de Leite**

**Presidente:** *Pedro Braga Arcuri*

**Secretária-Executiva:** *Inês Maria Rodrigues*

**Membros:** *Alexandre Magno Brighenti dos Santos, Aloisio Torres de Campos, Carlos Eugênio Martins, Carlos Renato Tavares de Castro, Edna Froeder Arcuri, Francisco José da Silva Lédo, Jackson Silva e Oliveira, Juliana de Almeida Leite, Luiz Sérgio de Almeida Camargo, Marcelo Dias Müller, Marcelo Henrique Otênio, Maria Gabriela Campolina Diniz Peixoto, Marlice Teixeira Ribeiro, Wadson Sebastião Duarte da Rocha*

Supervisão editorial: Marcelo Dias Müller

Normalização bibliográfica: Inês Maria Rodrigues

Tratamento de ilustrações: Leonardo Fonseca

Editoração eletrônica: Leonardo Fonseca

Foto da capa: Carlos Renato Tavares de Castro

Ilustração da capa: Xênia Nascimento Leite (estagiária)

**1ª edição**

1ª impressão (2007): 100 exemplares

**Todos os direitos reservados**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Gado de Leite**

---

Estimativa do acúmulo de biomassa e carbono por sistema silvipastoril implantado em área montanhosa na Zona da Mata Mineira / Marcelo Dias Müller... [et al.]. – Juiz de Fora : Embrapa Gado de Leite, 2007. 23 p. (Embrapa Gado de Leite. Boletim de Pesquisa, 23).

ISSN 1806-7093

1. Sistemas silvipastoris. 2. Biomassa. 3. Carbono. 4. *Eucalyptus grandis*. 5. *Acacia mangium*. I. Müller, Marcelo Dias. II. Fernandes, Elizabeth Nogueira. III. Castro, Carlos Renato Tavares de. IV. Paciuлло, Domingos Sávio Campos. V. Alves, Frederico de Freitas. VI. Série.

# Sumário

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Resumo .....                     | 5  |
| Abstract .....                   | 7  |
| Introdução .....                 | 8  |
| Material e métodos .....         | 13 |
| Resultados e discussão .....     | 15 |
| Conclusões .....                 | 19 |
| Referências bibliográficas ..... | 20 |



# Estimativa do acúmulo de biomassa e carbono por sistema silvipastoril implantado em área montanhosa na Zona da Mata Mineira

---

Marcelo Dias Müller<sup>1</sup>

Elizabeth Nogueira Fernandes<sup>2</sup>

Carlos Renato Tavares de Castro<sup>3</sup>

Domingos Sávio Campos Paciullo<sup>4</sup>

Frederico de Freitas Alves<sup>5</sup>

## Resumo

Com a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, como ferramenta do Protocolo de Quioto para possibilitar aos países do Anexo 1 atingirem suas metas de redução de emissões, foi gerado um amplo debate global sobre o potencial da silvicultura e da agrossilvicultura como atividades elegíveis para seqüestro de carbono. O objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque de biomassa e carbono em um sistema silvipastoril misto com *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, implantado na Zona da Mata Mineira. O sistema apresenta uma densidade de árvores de 105 plantas por hectare, sendo 60 árvores de eucalipto e 45 árvores de acácia. Para tanto, primeiramente, foi quantificado o volume do fuste das árvores aos 10 anos de idade, por meio do ajuste de equações alométricas e a quantificação da biomassa residual média da pastagem durante o período de 4 anos. Para o eucalipto foi estimado um total de 24,8 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa e 11,17 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono, para a acácia foi estimado um total de 6,94 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa e 3,12 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono, totalizando 31,74 Mg ha<sup>-1</sup> de

---

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, D.Sc. – Pesquisador da Embrapa Gado de Leite – muller@cnppl.embrapa.br

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, D.Sc. – Pesquisadora da Embrapa Gado de Leite – nogueira@cnppl.embrapa.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, D.Sc. – Pesquisador da Embrapa Gado de Leite – castro@cnppl.embrapa.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, D.Sc. – Pesquisador da Embrapa Gado de Leite – domingos@cnppl.embrapa.br

<sup>5</sup>Estudante de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – fredufv@hotmail.com

biomassa e 14,29 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. Para o componente pastagem, foi estimado um acúmulo de 1,28 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa e 0,58 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono somente no resíduo do pastejo. Dessa forma, o sistema estudado apresenta um grande potencial como alternativa para projetos de seqüestro de carbono.

**Palavras Chave:** sistemas silvipastoris, biomassa, carbono, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*

# Estimate of biomass and carbon storage by a silvipastoral system in mountain areas of Zona da Mata Mineira

---

Marcelo Dias Müller<sup>1</sup>

Elizabeth Nogueira Fernandes<sup>2</sup>

Carlos Renato Tavares de Castro<sup>3</sup>

Domingos Sávio Campos Paciullo<sup>4</sup>

Frederico de Freitas Alves<sup>5</sup>

## Abstract

The Clean Development Mechanism (CDM), as a Kyoto Protocol system to allow industrialized countries (the so-called Annex-I countries) achieve their GHG emission targets, generate a global debate about the silviculture and agrossilviculture potential as a eligible project-based activities reducing GHG emissions. This study aimed to quantify the amount of carbon and biomass reserve in a mixed silvopastoral system using *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* at the Zona da Mata of Minas Gerais State. The system had a plant density of 105 plants per hectare which was 60 eucalyptus plants and 45 acacia plants. To determine that density, for 4 years, the volume of fuste of 10 year old trees was assessed using allometric equations and quantification of pasture average residual biomass. For the eucalyptus plants, the estimative of biomass and carbon were 24.8 Mg ha<sup>-1</sup> and 11.17 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, while those for Acacia plants were 6.94 Mg ha<sup>-1</sup> and 3.12 Mg ha<sup>-1</sup>. The total amounts was 31.74 Mg ha<sup>-1</sup> of biomass and 14.29 Mg ha<sup>-1</sup> of carbon. It was estimated that the pasture, considering only the residues of pasturing, accumulated 1.28 Mg ha<sup>-1</sup> of biomass and 0.58 Mg ha<sup>-1</sup> of carbon. Therefore, this system presents a great potential like a carbon project sequestration alternative.

**Key words:** silvopastoral systems, carbon storage, biomass, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*

## Introdução

O aumento desproporcional da concentração de gases efeito estufa – GEE's na atmosfera no decorrer do último século, em função da atividade humana, levou a comunidade internacional a criar e estabelecer instituições e organismos voltados para a gestão deste problema. Em 1989, o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUMA) e a Organização Mundial de Meteorologia criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (em inglês: *International Panel on Climate Change*) entidade de cunho científico que reúne atualmente aproximadamente 2.500 cientistas de todo o mundo voltados para a discussão dos efeitos das ações antrópicas na mudança do clima global.

Durante a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro, em 1992 – também conhecida como a Cúpula da Terra – foi criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – UNFCCC (em inglês: *United Nations Framework Convention on Climate Change*), representando um esforço global de cerca de 180 países no sentido de estabilizar as emissões de GEE's (YU, 2004).

Após a entrada da UNFCCC em vigor, em 1994, passaram a ser realizadas, anualmente, reuniões entre os representantes dos países signatários para a tomada de decisões em relação às mudanças climáticas. Estas reuniões foram denominadas de Conferência das Partes – COP (CARVALHO et al., 2002).

A terceira conferência das partes – COP 3, realizada em Quioto, Japão, em 1997, culminou com o estabelecimento de um protocolo que definiu metas e prazos para a redução das emissões de GEE's por parte dos países industrializados, denominados Partes do Anexo I da UNFCCC. O Protocolo de Quioto, como foi chamado este acordo, estabeleceu que os países industrializados deveriam reduzir suas emissões em 5,2% (em média), abaixo dos níveis observados em 1990, no período compreendido entre 2008 e 2012 – época de contabilização de créditos dentro do primeiro período de compromisso (MCT, 2006).

Dentro do Protocolo de Quioto foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização (Implementação Conjunta, Comércio de Emissões e Meca-



nismo de Desenvolvimento Limpo – MDL) como uma forma de viabilizar a redução de emissões de GEE dos países desenvolvidos, pertencentes ao Anexo I da Convenção.

Dentre estes mecanismos, o mais importante para os países em desenvolvimento é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL. Este mecanismo tem como objetivo assistir às Partes não-incluídas no Anexo I, para que elas atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e às incluídas no Anexo I, para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, conforme determina o artigo 12.2 do Protocolo de Quioto (MCT, 2006). Sendo assim, este mecanismo permite que os países do Anexo 1 financiem projetos de redução de emissões ou seqüestro de carbono em países em desenvolvimento, como forma de cumprir seus compromissos e, ao mesmo tempo, contribuir para o desenvolvimento sustentável dos países emergentes (JACOVINE et al., 2006).

São considerados elegíveis dentro do MDL os projetos relacionados a:

- Aumento de eficiência energética;
- Substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis e;
- Atividades que resultem em seqüestro de carbono da atmosfera.

Especialmente, dentre as atividades que resultam em seqüestro de carbono, estão incluídas as atividades de Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Silvicultura – LULUCF (*Land use, land use change and forestry*). Para o primeiro período de contabilização de créditos (2008-2012), são elegíveis somente as atividades de florestamento e reflorestamento<sup>1</sup>. O tratamento das atividades de projeto de LULUCF no âmbito

---

<sup>1</sup> Na COP 7, ficaram assim definidos florestamento e reflorestamento. 'Florestamento é a conversão induzida diretamente pelo homem de terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes. Reflorestamento é a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada, mas convertida em terra não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989'.

do Artigo 12 do Protocolo de Quioto, em períodos de compromisso futuros, deve ser decidido como parte das negociações sobre o segundo período de compromisso (Decisão 7/CP7). As definições e modalidades de projetos de reflorestamento e florestamento ainda estão em discussão, principalmente no que se refere às questões de permanência (relacionado à quantidade de tempo que o C permanecerá fixado), adicionalidade (consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de C de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto de MDL) e vazamento (o mesmo que leakage; significa a variação líquida das emissões de GEE que ocorre fora dos limites do projeto e que é mensurada e atribuída à atividade do projeto de MDL). Particularmente, ao assunto da permanência, foram identificadas duas opções: 1a) um seguro contra a destruição ou degradação da floresta; e a 2a) criação de um tipo diferente de unidade de CER (Certificado de Redução de Emissões) para os projetos de seqüestro de C temporários na natureza (denominado TCER – certificado de redução de emissões temporárias). Esses CER's poderiam expirar ao término de cada período de compromisso e teriam de ser compensados pelo país que os utiliza, por meio de créditos substitutos ou créditos reeditados se o projeto original ainda existir. Vale lembrar que, na COP 9, realizada em dezembro de 2003, essas questões foram muito discutidas e algumas decisões e conclusões sobre o assunto foram tomadas. Contudo, as discussões continuam e a tendência é de se prolongarem por mais tempo (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

Alguns países tropicais já iniciaram programas de incentivos ao plantio de árvores, especialmente em áreas degradadas. Na Costa Rica, existe uma política de incentivo a plantios florestais já existentes, bem como a novos plantios, denominada Payment for Environmental Services. Recentemente, em 2003, os sistemas agroflorestais foram incluídos na lista de projetos a serem contemplados com incentivos (MONTAGNINI & NAIR, 2004).

No Brasil, algumas iniciativas estão sendo tomadas para o enquadramento de projetos dentro do MDL. Recentemente foi aprovada a metodologia AR-AM0005 (dez/2006), baseada no projeto: "Reflorestamento

como uma Fonte de Madeira para Uso Industrial no Brasil”, com o objetivo de substituir o carvão mineral, na produção de ferro-gusa, pelo carvão vegetal advindo de florestas plantadas de eucalipto. Neste caso, o reflorestamento é usado como um meio de processo, já que a atividade é de substituição de fonte de C (TSUKAMOTO FILHO, 2003). Outra metodologia que foi aprovada recentemente envolvendo atividades de florestamento/reflorestamento implementadas em pastagens não-manejadas em áreas de reserva e áreas protegidas é a AR-AM0010, baseada no projeto: “Atividade de projeto de florestamento e reflorestamento da AES-Tietê no entorno de reservatórios de plantas hidrelétricas”.

A grande novidade em 2007 foi a aprovação da metodologia AR-AM009, que envolve atividades de Florestamento/reflorestamento de áreas degradadas permitindo “atividades silvipastoris”. Esta metodologia foi baseada no projeto: “Projeto de Reflorestamento MDL San Nicolas”, na Colômbia. Foi o primeiro caso de sistema silvipastoril, que passou a ser aceito para apresentação desses projetos.

Dentro desse contexto, os sistemas agroflorestais apresentam grande potencial para mitigação das mudanças climáticas globais, por meio do seqüestro de carbono e sua estocagem na biomassa, e devido à maior produtividade global por unidade de área do que sistemas tradicionais, conforme relatado por diversos autores (MacDICKEN & VERGARA, 1990; MONTAGNINI et al., 1992; NAIR, 1993; YOUNG, 1997; HUXLEY, 1999; MACEDO, 2000).

SMITH & SHERR (2002) salientam ainda que os sistemas agroflorestais possam contribuir para a redução da pobreza em zonas rurais por meio da obtenção de renda com comercialização de créditos de carbono advindos de projetos aprovados dentro do contexto do MDL.

Na Região Sudeste, as áreas de influência da Mata Atlântica, particularmente a Zona da Mata Mineira, são caracterizadas por apresentar relevo bastante acidentado e solos com elevada acidez e baixa fertilidade natural (CARVALHO et al., 2001). Paralelamente a isto, grande parte destas áreas é ocupada por pastagens (geralmente degradadas).

Com isso, os sistemas silvipastoris, ganham especial destaque como alternativa de uso sustentável do solo, na medida em que proporcionam a melhoria de aspectos físicos e químicos do solo, bem como proporcionam a intensificação da produção animal, tornando a atividade pecuária regional mais sustentável e rentável (FRANCO, 2000).

A par disso, vale ressaltar ainda alguns trabalhos que indicam o grande potencial dos sistemas silvipastoris como alternativa de uso sustentável da terra.

SHARROW & ISMAIL (2004) conduziram um estudo comparando a produção de biomassa, estoque de carbono e nitrogênio em um sistema silvipastoril, pastagem e um plantio florestal com 11 anos de idade, no Oregon, Estados Unidos. O sistema silvipastoril apresentou maior produção de biomassa total e conseqüentemente maior estoque de carbono em relação à pastagem e ao plantio florestal. Resultado semelhante foi observado por KAUR et al. (2002) em um sistema silvipastoril implantado em solos com altos teores de sódio na região noroeste da Índia.

TSUKAMOTO FILHO (2003) em experimento realizado no noroeste de Minas Gerais, em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto comparado com um plantio florestal homogêneo, concluiu que o monocultivo foi menos eficiente no seqüestro de carbono quando comparado ao sistema agrossilvipastoril.

GUTMANIS (2004), avaliando o estoque de carbono e a dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris compostos por *Pinus* plantado em duas diferentes densidades e com seis espécies forrageiras, concluiu que a quantidade de biomassa produzida pela pastagem pode ser até superior a produção anual das árvores. As gramíneas utilizadas chegaram a contribuir com 43% do carbono estocado na densidade de 200 árv/ha, e com 23% na densidade de 400 árv/ha.

O objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque de carbono em um sistema silvipastoril implantado na Zona da Mata Mineira como subsídio para o estudo de alternativas de manejo de sistemas silvipastoris, como forma de integração de objetivos sócio-econômicos e ambientais.

## Material e métodos

### Caracterização do experimento

Os dados foram obtidos em um sistema silvipastoril misto com 10 anos de idade implantado em uma área de 4 hectares, no Campo Experimental de Coronel Pacheco, pertencente à Embrapa Gado de Leite, localizado na região da Zona da Mata Mineira, em área montanhosa de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

O clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico, apresentando verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A precipitação média anual situa-se ao redor de 1500 mm, distribuídos irregularmente, e somente 13% desse total ocorre durante os meses de maio a setembro, considerado como o período da seca. A temperatura média é de 18 °C nos meses mais frios e 22 °C durante o período de verão.

O sistema silvipastoril em questão é composto por faixas de árvores em nível, com largura de, aproximadamente, 10 metros, intercaladas por faixas de pastagem com largura aproximada de 30 metros. Dentro da faixa de árvores, foi mantido um espaçamento de 3 x 3 metros entre linhas e plantas.

O sistema é composto por duas espécies arbóreas: *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* e o componente herbáceo é constituído por uma pastagem de *Brachiaria decumbens* cv Basilisk pastejada em sistema rotacionado, com períodos médios de ocupação e descanso de cinco e 45 dias, respectivamente.

O estoque final de árvores aos 10 anos foi estimado em 105 árvores por hectare, em função da mortalidade e de desbastes seletivos ocorridos. Dessas, 60 árvores são de eucalipto e 45 de *Acacia mangium*.

### Procedimento para estimativa do estoque de biomassa e carbono no fuste do componente florestal

Para estimar os estoques de biomassa e volume, inicialmente foi necessário estimar o volume de madeira por meio do ajuste de equações

alométricas. Para isto, foi realizada a caracterização da distribuição diamétrica das árvores e seleção de árvores para cubagem. Foram selecionadas 3 árvores por classe de diâmetro para cubagem rigorosa em pé, com o auxílio de um Pentaprisma de Weeler.

O volume individual (V) das árvores foi calculado por meio da aplicação sucessiva da fórmula de Smalian (CAMPOS & LEITE, 2002) em seções de 1 m de comprimento (HUSCH et al., 1993):

$$v = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\pi}{80000} \right) (D_x^2 + D_y^2) L I$$

Onde:

n = número de seções;

$D_x$  = diâmetro maior da seção i, em cm;

$D_y$  = diâmetro menor da seção i, em cm;

L = comprimento do tronco, em m.

A partir dos dados da cubagem rigorosa, foram ajustados seis diferentes modelos matemáticos de volume em função do DAP e Ht, selecionados na literatura florestal, conforme descritos na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1.** Modelos volumétricos testados para estimativa de volume e biomassa do fuste de árvores de eucalipto e acácia.

| Equação | Modelo   | Autor                            |
|---------|--|----------------------------------|
| 1       | $\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht$ | Schumacher-Hall (logaritimizado) |
| 2       | $\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP^2 H)$               | Spurr (logaritimizado)           |
| 3       | $\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * DAP$    | Brenac                           |
| 4       | $V = \beta_0 + \beta_1 * DAP^2$                          | Koperzky e Gehrhardt             |
| 5       | $V = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$          | Hohenald e Kreen                 |
| 6       | $V = \beta_0 + \beta_1 * DAP$                            | Berkhout                         |

As estimativas de biomassa do fuste das árvores foram calculadas multiplicando os valores de densidade básica da madeira pelos respectivos volumes, conforme a expressão (FINKE HERRERA, 1989):

$$PS(c) = V(DBMT) \text{ ou } (DBC), \text{ onde:}$$

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

V = volume de madeira ou casca, em m<sup>3</sup>;

DBMT = densidade básica média da madeira, em kg/m<sup>3</sup>; e

DBC = densidade básica da casca, em kg/m<sup>3</sup>.

Com relação ao carbono estocado na biomassa, são vários os estudos que indicam percentuais próximos a 50%. Este percentual tem sido aceito pela UNFCC como base de cálculo para estimativas de carbono em projetos de MDL. Entretanto, SANQUETA & BALBINOT (2004) alertam que o uso indiscriminado deste parâmetro (0,5) para conversão de biomassa em carbono pode gerar estimativas irreais. Sendo assim, neste estudo será adotado o fator 0,45, que representa um percentual mais conservador.

## Procedimento para estimativa do estoque de biomassa e carbono no componente herbáceo

As amostras para avaliação da biomassa da pastagem foram obtidas com auxílio de uma moldura de 0,5 x 0,5 m, lançada vinte vezes, ao acaso, em cada estrato. Foi coletada a biomassa aérea do resíduo após pastejo da forragem contida em cada quadrado. Este material foi levado ao laboratório, onde foi separado manualmente em materiais verde e morto. Uma subamostra de cada componente foi pesada e secada em estufa a 65 °C, até peso constante. Em seguida, as amostras foram moídas a 1 mm, em moinho tipo Willey e submetidas a secagem em estufa a 105 °C para determinação da matéria seca.

Para cálculo do carbono existente foi utilizado o mesmo procedimento para o componente florestal, com a multiplicação do valor de matéria seca pelo fator 0,45.

## Resultados e discussão

Para o eucalipto, o modelo de SHUMACHER E HALL (1933) apresentou melhor ajuste para a estimativa do volume, conforme apresentado a seguir:

$$\text{Volume: } \ln V = -9,961 + 1,846(\ln DAP) + 1,067(\ln Ht) \quad R^2 = 0,9817$$

De acordo com CAMPOS & LEITE (2002), o modelo de SCHUMACHER E HALL (1933), tem sido o mais difundido em função de suas propriedades estatísticas., uma vez que, resulta quase sempre em estimativas não tendenciosas.

Para a estimativa de volume da acácia, o modelo que melhor se ajustou foi o de SPURR (1952), conforme apresentado a seguir:

$$\text{Volume: } \ln V = -9,097 + 2,6490(\ln DAP) - 0,032(DAP) \quad R^2 = 0,9734$$

Este resultado está de acordo com o encontrado por Tonini & Schwengber (2006), que compararam várias equações de volume para acácia mangium em Roraima e determinaram que o modelo de Spurr apresentou o melhor ajuste. Por outro lado, Veiga et al. (2000) determinaram que o modelo de Meyer modificado foi o que apresentou melhor ajuste para plantios de acácia mangium na região de Botucatu, SP. CAMPOS & LEITE (2002) afirmam que o modelo de SPURR (1952) tem sido, também, bastante difundido em função da facilidade de ajustamento.

Com base nessas equações foram calculados o volume, a biomassa e o carbono do fuste das árvores do povoamento conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Volume total (VT), biomassa e carbono estocados (por hectare) no fuste das árvores de *Eucalyptus grandis* por classe de diâmetro aos 10 anos de idade.

| Classe diamétrica (cm) | Freqüência | VT (m <sup>3</sup> ) | Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> )* | C (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 00,00 – 4,99           | 1          | 0,003                | 0,002                            | 0,001                    |
| 5,00 – 9,99            | 2          | 0,062                | 0,038                            | 0,017                    |
| 10,00 – 14,99          | 6          | 0,507                | 0,314                            | 0,141                    |
| 15,00 – 19,99          | 7          | 1,633                | 1,013                            | 0,456                    |
| 20,00 – 24,99          | 9          | 3,604                | 2,235                            | 1,006                    |
| 25,00 – 29,99          | 11         | 6,905                | 4,281                            | 1,927                    |
| 30,00 – 34,99          | 13         | 12,00                | 7,443                            | 3,349                    |
| 35,00 – 39,99          | 8          | 10,00                | 6,196                            | 2,788                    |
| 40,00 – 44,99          | 2          | 3,242                | 2,010                            | 0,904                    |
| 45,00 – 49,99          | 1          | 2,067                | 1,282                            | 0,577                    |
| Total                  | 60         | 40,00                | 24,81                            | 11,17                    |

\* Considerando uma densidade de 620 kg/m<sup>3</sup>, para *E. grandis* com 11 anos de idade (BRITO & BARRICHELO, 1977).



**Tabela 3.** Volume total (VT), biomassa e carbono estocados (por hectare) no fuste das árvores de *Acacia mangium* por classe de diâmetro aos 10 anos de idade.

| Classe diamétrica (cm) | Frequência | VT (m <sup>3</sup> ) | Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> ) | C (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 00,00 – 4,99           | 0          | 0                    | 0                               | 0                        |
| 5,00 – 9,99            | 2          | 0,062                | 0,032                           | 0,015                    |
| 10,00 – 14,99          | 11         | 0,929                | 0,487                           | 0,219                    |
| 15,00 – 19,99          | 12         | 2,800                | 1,467                           | 0,660                    |
| 20,00 – 24,99          | 15         | 6,007                | 3,148                           | 1,417                    |
| 25,00 – 29,99          | 4          | 2,511                | 1,316                           | 0,592                    |
| 30,00 – 34,99          | 1          | 0,923                | 0,484                           | 0,218                    |
| 35,00 – 39,99          | 0          | 0                    | 0                               | 0                        |
| 40,00 – 44,99          | 0          | 0                    | 0                               | 0                        |
| 45,00 – 49,99          | 0          | 0                    | 0                               | 0                        |
| Total                  | 45         | 13,23                | 6,934                           | 3,12                     |

\* Considerando uma densidade de 524 kg/m<sup>3</sup> (Vale et al., 1999).

Com relação ao componente herbáceo foi considerada a biomassa residual de *B. decumbens* após os períodos de pastejo. Os valores apresentados na Tabela 4 referem-se a média mensal de um período de 4 anos (2003 – 2007).

**Tabela 4.** Acúmulo de biomassa e carbono (por hectare) de *B. decumbens* (matéria seca) presente no sistema silvipastoril após pastejos periódicos.

| Mês         | Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> de MS) | Carbono (Mg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Janeiro     | 1,336                                | 0,60                           |
| Fevereiro   | 1,717                                | 0,77                           |
| Março       | 1,227                                | 0,55                           |
| Abril       | 1,260                                | 0,57                           |
| Mai         | 1,806                                | 0,81                           |
| Junho       | 1,976                                | 0,89                           |
| Julho       | 1,167                                | 0,53                           |
| Agosto      | 1,124                                | 0,51                           |
| Setembro    | 1,044                                | 0,47                           |
| Outubro     | 0,989                                | 0,45                           |
| Novembro    | 0,853                                | 0,38                           |
| Dezembro    | 0,873                                | 0,39                           |
| Média anual | 1,28                                 | 0,58                           |

Considerando as duas espécies arbóreas, estima-se um total de 31,74 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa e 14,29 Mg ha<sup>-1</sup> de carbono. GIRALDO et al. (2007) encontraram resultados semelhantes para sistemas silvipastoris de *Acacia mangium* consorciada com *Brachiaria dyctioneura*, com densidade de 100 plantas por hectare. Segundo o autor, somente para a parte aérea do componente florestal foi estimado um total de 30,22 Mg de biomassa seca por hectare.

KAUR et al. (2002), avaliando o estoque de carbono em sistemas silvipastoris com 6 anos de idade, estabelecidos em solos com altos teores de sódio e precipitação média anual de 600 mm, na região noroeste da Índia, encontraram valores de biomassa de fuste variando entre 4,62 a 9,78 Mg ha<sup>-1</sup> em três diferentes arranjos espaciais de árvores. Para o componente herbáceo foram registrados valores variando entre 0,42 a 3,92 Mg ha<sup>-1</sup>. Neste estudo os autores consideraram a biomassa aérea total.

Em outro estudo realizado por TSUKAMOTO FILHO (2003) na região noroeste de Minas Gerais, em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto na densidade de 250 árvores por hectare, foi observado uma produção de 107,96 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa seca do fuste, aos 10 anos de idade, o que corresponde a 0,43 Mg por planta, valor bastante semelhante ao encontrado para o eucalipto neste trabalho (0,41 Mg ha<sup>-1</sup>).

GUTMANIS (2004) observou valores próximos em experimento silvipastoril com *Pinus elliotti* na região de Nova Odessa, SP, em duas densidades de plantio. Para a densidade de 200 árvores por hectare o acúmulo de biomassa no fuste das árvores foi de 104,54 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 0,523 Mg por planta. Já na densidade de 400 árvores por hectare houve maior acúmulo de biomassa, 187,36 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 0,468 Mg por planta. Para o componente herbáceo foram observados valores de 8,23 Mg ha<sup>-1</sup>, para o sistema com densidade de 200 árvores por hectare e 6,58 Mg ha<sup>-1</sup>, para o sistema com densidade de 400 árvores por hectare. Nesse estudo também foi considerada a biomassa aérea total.

Segundo SHARROW & ISMAIL (2004), 90% do carbono das pastagens são armazenados no solo sob a forma de matéria orgânica, o que

evidencia a necessidade da inclusão desse compartimento nos estudos sobre fixação de carbono em sistemas silvipastoris.

## Conclusões

Diante da possibilidade de utilização de projetos florestais e agroflorestais como forma de mitigação de emissões de gases efeito estufa e considerando as premissas de desenvolvimento sustentável, exigidas como condicionantes para elegibilidade de projetos, torna-se fundamental o estudo de alternativas de manejo de florestas, bem como de sistemas de uso do solo que proporcionem a integração de objetivos sócio-econômicos e ambientais.

A literatura científica a respeito do seqüestro de carbono em sistemas agroflorestais ainda é escassa quando comparada àquela referente a plantios homogêneos (MONTAGNINI & NAIR, 2004), justificando a necessidade de aprofundamento dos estudos da estimativa dos estoques de biomassa e carbono nos diversos compartimentos do sistema a fim de se conhecer seu potencial de seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Neste estudo foram considerados apenas os compartimentos florestal (fuste) e herbáceo (resíduo pós pastejo). O compartimento solo, considerado o maior reservatório de carbono, ainda precisa ser mais profundamente estudado.

Os resultados aqui apresentados, coincidem com estimativas observadas em outros estudos com diferentes espécies, arranjos e regiões e são apenas indicativos do potencial deste sistema silvipastoril, recomendando-se maiores estudos com relação aos demais compartimentos dele componentes.

Em um mercado globalizado e cada vez mais competitivo, a possibilidade de agregar valores aos sistemas silvipastoris, com o emergente “mercado de créditos de carbono”, e de contribuir para o seqüestro do CO<sub>2</sub> atmosférico, cria perspectivas otimistas de expansão para os setores florestal e pecuário brasileiro.

## Referências bibliográficas

ANTUNES, R. R. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.

CAMPOS, J. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV, 2002. 407 p.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F.; ALVIM, M. J. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. C. (Ed.). **Sistemas Agroflorestais Pecuários**: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. Juiz de Fora : Embrapa Gado de Leite, 2001. p. 189-204.

CARVALHO, G. et al. **Perguntas e Respostas sobre Mudanças Climáticas**. Belém: IPAM, 2002. 32 p.

DIXON, R. K. Agroforestry Systems: sources or sinks of greenhouse gases? **Agroforestry Systems**, v. 31, p. 99-116, 1995.

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

FRANCO, F. S. **Sistemas Agroflorestais**: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na Zona da Mata de Minas Gerais. 2000. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GIRALDO, L. A.; ZAPATA, M.; MONTOYA, E. **Captura y flujo de carbono en silvopastoreo con bovinos en el tropico colombiano**. AIDA, Medellín, 2007. Disponível em: <[www.aida-itea.org/jornada38/sistemas/miscelanea/m6\\_giraldo.pdf](http://www.aida-itea.org/jornada38/sistemas/miscelanea/m6_giraldo.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2008.

GONÇALVES, A. O. Aspectos Climáticos da Zona da Mata. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Ed.). **Seqüestro de Carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 63-76.

GUTMANIS, D. **Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris**. 2004. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. Florida: Krieger Publishing Company, 1993. 402 p.

HUXLEY, P. **Tropical Agroforestry**. Cambridge: University Press, 1999. 371 p.

JACOVINE, L. A. G.; NISHI, M. H.; SILVA, M. L.; VALVERDE, S. R.; ALVARENGA, A. P. A seringueira no contexto das negociações sobre Mudanças Climáticas Globais. In: ALVARENGA, A. P.; CARMO, C. A. F. S. (Ed.). **Seqüestro de Carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 1-41.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G. Carbon storage and nitrogen cycling in silvopastoral systems on a sodic soil in Northwestern India. **Agroforestry Systems**, v. 54, p. 21-29, 2002.

MacDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Agroforestry: Classification and Management**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 382 p.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 157 p.

Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. **Protocolo de Kyoto**. MCT, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <[www.mct.gov.br/upd\\_blob/0012/12425.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12425.pdf)>. Acesso em: 07 fev. 2008.

MONTAGNINI, F. et al. **Sistemas Agroforestales: principios e aplicaciones en los trópicos**. 2. ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon Sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 281-295, 2004.

NAIR, P. K. **An Introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 499 p.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE FIXAÇÃO DE CARBONO EM ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 1., 2004, Curitiba: **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná/Instituto Ecoplan, 2004. p. 77-93.

SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems**, v. 60, p. 123-130, 2004.

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

SMITH, J.; SHERR, S. J. **Forest carbon and local livelihoods: assesment of opportunities and policy recommendations**. CI-FOR Ocasional Paper 37, Center for International Forestry Research, Jackarta, 2002. Não paginado.

SPURR. **Forest Inventory**. New York: Roland Press, 1952. 476 p.

TONINI, H.; SCHWENGBER, L. A. M. Equações hipsométricas e volumétricas para *Acacia mangium* Willd em Roraima. **Ambiência**, v. 2, n. 2, p. 155-165, 2006.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; BRASIL, M. A. M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 13-107, 2000.

YOUNG, A. **Agroforestry for Soil Management**. 2. ed. Nairobi: ICRAF, 1997. 320 p.

YU, C. M. **Seqüestro Florestal de Carbono no Brasil**: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume/IEB, 2004. 280 p.