

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DO CRESCIMENTO EM CARBONO E POTENCIAL DE
COMPENSAÇÃO DO COMPONENTE ARBÓREO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

PAULO HENRIQUE VILLANOVA

Viçosa
Minas Gerais - Brasil
Dezembro – 2014

PAULO HENRIQUE VILLANOVA

**DINÂMICA DO CRESCIMENTO EM CARBONO E POTENCIAL DE
COMPENSAÇÃO DO COMPONENTE ARBÓREO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

Viçosa
Minas Gerais - Brasil
Dezembro – 2014

PAULO HENRIQUE VILLANOVA

**DINÂMICA DO CRESCIMENTO EM CARBONO E POTENCIAL DE
COMPENSAÇÃO DO COMPONENTE ARBÓREO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.
Coorientador 1: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.
Coorientador 2: Helio Garcia Leite.
Coorientador 3: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.
Coorientador 4: Eliana Boaventura B. Moura Alves

Aprovada em 12 de Dezembro de 2014

Prof. Laércio A. Gonçalves Jacovine
Orientador

Prof. Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
Coorientador

Prof. Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres
Coorientador

*“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu tamanho
original”*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Ao professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela orientação durante a realização deste trabalho.

Aos professores Sílvio Nolasco de Oliveira Neto e Helio Garcia Leite pela essencial contribuição neste estudo.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e à Universidade Federal de Viçosa pela disponibilização dos laboratórios, carros e equipamentos.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de aprendizado.

Ao Grupo de Estudos em Economia Ambiental (GEEA) pelos ensinamentos e pela ajuda na execução deste projeto.

Ao Professor e produtor Lino Roberto Ferreira por disponibilizar sua propriedade para a realização dos estudos de campo.

À equipe de trabalho, Carlos Torres, Eliana Boaventura, Samuel José e Mateus Matos pela execução e elaboração desta pesquisa.

À minha família e amigos pelo apoio.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULO HENRIQUE VILLANOVA, filho de Paulo Tadeu Villanova e Eloisa Aparecida de Paula, nasceu no dia 14 de Junho de 1990, no município de Antônio Carlos, Minas Gerais.

Em dezembro 2007, concluiu o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Barbacena.

Em março de 2009, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o no ano de 2014.

ÍNDICE

EXTRATO	v
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. Área de Estudo.....	10
4.2. Descrição dos SAFs.....	10
4.3. Coleta e avaliação dos dados.....	13
4.4. Modelagem de crescimento e produção.....	16
4. RESULTADOS.....	18
4.1. Inventário florestal	18
4.2. Modelagem de crescimento e produção.....	25
5. CONCLUSÕES	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

EXTRATO

VILLANOVA, Paulo Henrique. Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 2014. **DINÂMICA DO CRESCIMENTO EM CARBONO E POTENCIAL DE COMPENSAÇÃO DO COMPONENTE ARBÓREO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA - MG.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientadores: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto, Hélio Garcia Leite, Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres, Eliana Boaventura B. Moura Alves.

Em função da demanda governamental e de produtores rurais por modelos de produção que permitam um balanço positivo de carbono, existe uma crescente necessidade de se realizarem estudos relacionados ao potencial de estocagem de carbono em Sistemas Agroflorestais (SAFs). Contudo, pouco se conhece sobre modelos de crescimento e produção para esse tipo de sistema. Nesse sentido, objetivou-se determinar dinâmica do crescimento em carbono e o potencial de compensação do componente arbóreo em sistema agroflorestal no município de Viçosa – MG. O estudo foi conduzido em um SAF, cuja área total é subdividida em 5 áreas, com diferentes composições de sistemas agrossilvipastoris e silvipastoris. Nos anos de 2012, 2013 e 2014 foi realizada uma amostragem aleatória e determinado o volume do povoamento pelo modelo de Schumacher & Hall. Para determinar a dinâmica do crescimento em nível de povoamento, foram ajustados os modelos de Gompertz e Logístico. Verificou-se e concluiu-se que o SAF possui um crescimento em altura, diâmetro quadrático, área basal, volume e carbono próximo aos valores encontrados para espaçamentos mais adensados. O modelo logístico é o que melhor descreve o comportamento de crescimento e produção do SAF e estimou que o crescimento em carbono estabilizará em 125 tC.ha^{-1} . Em SAFs com espaçamento 8 x 3 metros, o desbaste deverá ocorrer por volta de 7 anos, de forma que a competição entre as árvores não afete a dinâmica de crescimento do povoamento. Além disso, pode-se concluir que a estocagem de

carbono do SAF possui potencial para contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa das atividades oriundas das propriedades rurais.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Governo Brasileiro tem adotado medidas que visam mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) advindas da mudança do uso da terra, em particular da conversão de florestas para uso agropecuário, bem como promover a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais.

Nesse âmbito criou-se o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que tem como objetivo incentivar a adoção de práticas sustentáveis que garantam a redução das emissões de GEE, aliadas ao aumento de renda dos produtores, sobretudo com a expansão das seguintes tecnologias: recuperação de pastagens degradadas; sistema de plantio direto (SPD); fixação biológica de nitrogênio (FBN); florestas plantadas; integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) e sistemas agroflorestais (SAFs) (Brasil, 2011).

Os SAFs surgem como uma prática alternativa ao modelo convencional e monocultor de produção. Segundo Nair (1993), os SAFs podem ser definidos como qualquer sistema de uso da terra que envolve a utilização deliberada de árvores, ou outras plantas perenes lenhosas, com cultivos agrícolas, pastagens e,

ou, animais, com intuito de obter benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes.

Diante destes atributos é que se pode dizer que os SAFs são importantes como estratégia para promover, dentre outros serviços ambientais, a estocagem de carbono, em função de seu potencial de armazenamento do CO₂ atmosférico nos diversos componentes do sistema, principalmente o arbóreo. Porém, esse substancial potencial ainda não foi devidamente reconhecido, muito menos explorado, necessitando de uma maior concepção e gestão para torná-los eficazes sumidouros de carbono.

Como uma das principais ferramentas de gestão e de tomada de decisões, têm-se utilizado os modelos ajustados para crescimento e produção com o intuito de realizar prognoses dos produtos que os SAFs podem oferecer, conhecer a estrutura presente e futura de um povoamento, planejar estratégias de mercado precocemente, além de quantificar o teor e o crescimento em carbono das árvores que compõem este sistema (SOUZA, 2005).

Os modelos empíricos usados frequentemente para estimar o crescimento vegetal incluem a função logística e de Gompertz (SEBER e WILD, 1989; RATKOWSKY, 1983). De acordo com Scolforo (1998), o uso de modelos é uma forma lógica de se expressar o crescimento ou incremento (acréscimo do elemento dendrométrico considerado) e a produção (crescimento acumulado).

Muitos estudos sobre crescimento e produção já foram conduzidos para monoculturas florestais. Entretanto, o mesmo não acontece para SAFs, não se conhecendo o real potencial de estocagem de carbono dos indivíduos arbóreos que constituem esses sistemas. Sendo assim, justifica-se a realização de estudos que visem determinar a dinâmica do crescimento em carbono ao longo dos anos e, a partir dos dados obtidos, ratificar a importância dos programas de mitigação do GEE adotados pelo governo brasileiro.

2. OBJETIVOS

Determinar a dinâmica do crescimento em carbono e o potencial de compensação do componente arbóreo em Sistema Agroflorestal no município de Viçosa, MG.

Especificamente, objetivou-se:

- Determinar os principais parâmetros atuais de inventário florestal de cada área que compõe o SAF;
- Ajustar modelos de crescimento e produção, em nível de povoamento, em função das idades;
- Determinar o potencial de estocagem de carbono, como forma de subsidiar políticas sobre mudanças climáticas e iniciativas de compensação de emissões em propriedades rurais;
- Avaliar a necessidade de desbaste de cada sistema.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

O estudo foi conduzido em sistemas agroflorestais situado na localidade rural do Paraíso, no município de Viçosa, Minas Gerais (MG).

O clima na região é do tipo Cwa, segundo o sistema de Köppen, ou seja, mesotérmico com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 21,8 °C e a precipitação anual de 1.221,4 mm (BRASIL, 1992). De acordo com Golfari (1975), pelo balanço hídrico de Thornthwaite e Mather verifica-se, de maio a setembro, a ocorrência de déficit hídrico e retirada de água do solo para suprir as necessidades fisiológicas das plantas.

4.2. Descrição dos SAFs

A área é subdividida em seis sistemas que foram implantados entre os anos de 2007 e 2009.

Na propriedade, três áreas são compostas pelo sistema agrossilvipastoril, uma delas (EMB 07) consorciando eucalipto (*Eucalyptus saligna*) + milho (*Zea mays*) + pastagem (*Brachiaria decumbens*) e animal e as demais (EFB 08 e EFB 09) consorciando eucalipto (*Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) + feijão (*Phaseolus vulgaris*) + pastagem (*Brachiaria decumbens*) e animal. Outras três áreas (EB 08, EB 09 e EBR 09) foram destinadas para a implantação de sistema silvipastoril, constituído de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*) + pastagem (*Brachiaria decumbens*) e animal. Na Tabela 1 são apresentadas as informações inerentes a cada sistema.

Tabela 1: Cultivo agrícola, pastagem, ano de implantação, área e espaçamento para os sistemas estudados.

Sistema	Agrícola	Pastagem	Ano de Implantação	Área (ha)	Espaçamento (m)
EMB 07	Milho	Braquiária	2007	0,93	8x3
EFB 08	Feijão	Braquiária	2008	0,73	8x3
EB 08	-	Braquiária	2008	1,90	8x3
EFB 09	Feijão	Braquiária	2009	0,72	8x3
EB 09	-	Braquiária	2009	4,23	8x3
EBR 09	-	Braquiária	2009	0,55	9x1

Neste estudo, foram avaliados todas os 6 sistemas que compõem o SAF. Entretanto, posteriormente foi descartada o sistema EBR 09 devido ao maior adensamento do plantio quando comparado aos outros sistemas e também pela alta mortalidade e condições fitossanitárias das árvores presentes neste sistema.

Para melhor visualização espacial dos sistemas descritos anteriormente, foi elaborado um mapa da área, conforme Figura 1.

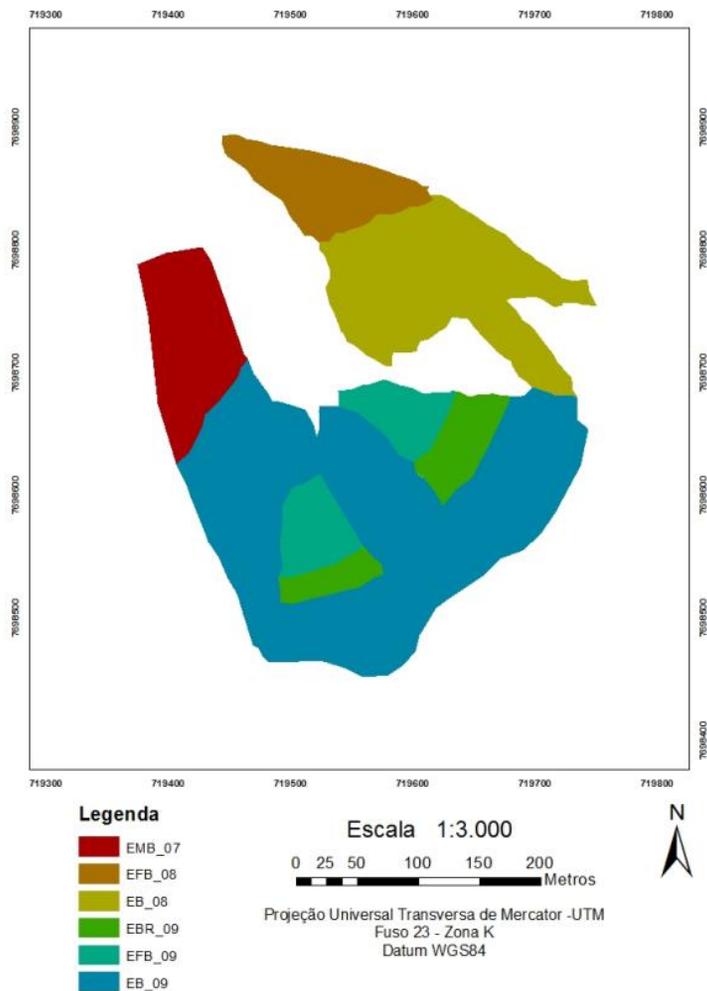


Figura 1: Mapa da área com os sistemas estudados.

No plantio do eucalipto de todos os sistemas, utilizou-se $0,2 \text{ Kg.cova}^{-1}$ de NKP (06-30-06). Na pastagem, foi aplicado $100 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de ureia. Para o componente agrícola, utilizou-se 500 Kg.ha^{-1} de NPK (08-24-12) e 500 kg.ha^{-1} de NPK (30-00-10) em cobertura para o milho. Já para o cultivo do feijão foi utilizado um total de 300 Kg.ha^{-1} de NPK (08-28-16) e 200 Kg.ha^{-1} de ureia em cobertura nas duas áreas de plantio.

4.3. Coleta e Avaliação dos Dados

Para a coleta dos dados, foi realizada uma amostragem aleatória nos 5 sistemas que compõem o SAF, por meio da utilização de unidades amostrais de 750 m² de área.

A intensidade amostral adotada foi de, aproximadamente, 1 parcela a cada 0,25 ha, para os sistemas menores que 1 ha, e para as demais áreas, 1 parcela a cada 0,5 ha. Desta forma, foram lançadas um total de 22 parcelas, distribuídas entre os sistemas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Número de parcelas e intensidade amostral

Sistema	Área (ha)	Número de Parcelas	Intensidade Amostral
EMB 07	0,93	4	1 : 0,233
EFB 08	0,73	3	1 : 0,243
EB 08	1,90	4	1 : 0,475
EFB 09	0,72	3	1 : 0,240
EB 09	4,23	8	1 : 0,530

O número de parcelas correspondeu a uma área total de amostragem de respectivamente 32,2%, 30,8%, 15,8%, 31,25% e 14% da área dos SAFs. Em todos os sistemas, o tamanho da amostragem foi satisfatório considerando um erro máximo admissível de 20%, a 95% de probabilidade.

Em todas as parcelas foram mensuradas a circunferência a altura do peito (CAP) e a altura total das árvores. Foram utilizados, respectivamente, fita métrica e hipsômetro digital Vertex IV. As medições dessas variáveis dendrométricas foram efetuadas nos anos de 2012, 2013 e 2014, sempre nos meses de setembro e outubro.

No ano de 2012, após a obtenção dos dados da primeira medição, foi realizada a caracterização da distribuição diamétrica dos indivíduos do

povoamento florestal para a definição do número de árvores, por classe de diâmetro, que seriam selecionadas para a realização da cubagem rigorosa. Assim sendo, foram escolhidas, dentro da área de estudo, três árvores-amostra por classe de DAP.

Para a determinação do volume com casca do fuste foi realizado o abate das árvores-amostra e medida a altura total, em metros, correspondente à distância entre o solo até o topo da árvore. Após esse procedimento determinou-se o volume pela aplicação sucessiva da fórmula de Smalian [1].

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \cdot L \quad [1]$$

Em que:

V: Volume com ou sem casca da seção, em m³;

AS₁: Área seccional do início da seção, em m²;

AS₂: Área seccional do final da seção, em m²;

L: Comprimento da seção, em m.

Foram mensurados, com o auxílio de uma suta e uma trena, os diâmetros com casca às alturas de 0,30m, 0,70m, 1,30m e, a partir desta altura, a cada 2,0 metros, até um diâmetro mínimo com casca de 3,0 cm.

Além disso, para cada árvore amostra, foram retirados discos de 2,5 cm de espessura a 0 (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco e a 1,3 m. Cada disco foi subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. Duas cunhas opostas foram utilizadas para determinação da densidade básica da madeira, sendo o restante utilizado para análises da composição elementar.

Para a determinação da densidade básica foi utilizado o método de imersão em água, descrito por Vital (1984) e pela NBR 11941 (ABNT, 2003), utilizando-se

uma balança hidrostática. Os valores médios foram calculados a partir da média aritmética das densidades das respectivas cunhas.

Para a determinação da composição elementar, foi empregado o método da combustão seca, utilizando-se um determinador elementar de C, H e N (TruSpec Micro CHN LECO Corp., St. Joseph, MI).

A partir dos dados da cubagem rigorosa e das variáveis dendrométricas DAP e HT, foram ajustadas equações referentes ao modelo de Schumacher & Hall [2] e Spurr [3], para a obtenção do volume.

$$Y_j = \beta_1 \cdot DAP^{\beta_2} \cdot H^{\beta_3} \cdot \varepsilon \quad [2]$$

$$Y_j = \beta_1 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{\beta_2} \cdot \varepsilon \quad [3]$$

Em que:

Y_j : refere-se ao volume (m³) do modelo j;

H : altura total (m);

β_1 , β_2 e β_3 : parâmetros do modelo de ordem j;

ε : erros aleatórios;

DAP : diâmetro a altura do peito.

Para avaliar o desempenho dos modelos ajustados, foram calculadas as medidas de exatidão: coeficiente de determinação (R^2) [4], BIAS (%) [5] e a Raiz quadrada do erro percentual (RMSE%) [6], definidos respectivamente pelas expressões:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad [4]$$

$$BIAS \% = \frac{100}{\bar{y}} \times \frac{\sum (y - \hat{y})}{n} \quad [5]$$

$$RMSE \% = \frac{100}{\bar{y}} \times \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n}} \quad [6]$$

Em que:

R^2 : coeficiente de determinação empírica ou eficiência do modelo;

$BIAS\%$: viés relativo;

$RMSE\%$: raiz quadrada de erro percentual;

n : número de observação;

\bar{y} : média da variável dependente (volume, biomassa e carbono);

Y_i : valor observado i ;

\hat{y}_i : valor i da variável dependente.

Todos esses ajustes para a escolha do melhor modelo foram calculados a partir do software R (R Core Team 2013). Foram estimados o diâmetro quadrático e altura média, além do volume, área basal e carbono por hectare de cada sistema.

4.4. Modelagem de Crescimento e Produção

Para projetar a dinâmica do crescimento e produção em nível de povoamento, foram ajustados os modelos de Gompertz [7] e Logística [8], através do programa DAP CurveFit (versão 0.7) para diâmetro quadrático, altura média, volume, carbono e área basal.

$$y = \alpha \cdot e^{(e^{\beta - YI})} \quad [7]$$

$$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta \cdot e^{(-\gamma l)})} \quad [8]$$

Em que:

y = Variável de interesse;

α , β e γ = parâmetros do modelo;

l = Idade, em meses.

A escolha do melhor modelo foi feita com base no coeficiente de correlação ($r_{\hat{y}y}$) [9], no erro padrão residual (s_{yx}) [10] das estimativas e na análise dos comportamentos gráficos das curvas ajustadas.

$$r_{\hat{y}y} = \frac{n^{-1}(\sum(\hat{y}_i - \hat{y}_m)(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{(n^{-1}\sum(\hat{y}_i - \hat{y}_m)^2)(n^{-1}\sum(y_i - \bar{y})^2)}}; \hat{y}_m = n^{-1}\sum\hat{y}_i \quad [9]$$

$$s_{yx} = \sqrt{QMRes} \quad [10]$$

Em que:

y_i : Valores observados;

\hat{y}_i : Valores estimados;

\hat{y}_m : Média das estimativas de y ;

\bar{y} : Média aritmética de y ;

n : Número de observações

$QMRes$: Estimativa da variância residual.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Inventário Florestal

Foi obtida uma equação geral de volume para todos os SAFs, seguindo os modelos de Shumacher & Hall [11] e Spurr [12], conforme demonstrado a seguir:

$$Y_1 = 0,0002059 \cdot DAP^{2,139} \cdot H^{0,4408} \quad [11]$$

$$Y_2 = 0,0002172 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{0,8509} \quad [12]$$

Em que:

Y_1 e Y_2 : volume (m³) do modelo;

DAP: diâmetro a altura do peito;

H: altura total da árvore;

As equações foram submetidas a análises estáticas e geradas medidas de precisão, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis utilizadas para escolha dos modelos.

Modelos	R²	BIAS %	RMSE %
Schumacher & Hall	97,8200	0,2616	10,4423
Spur	97,0245	0,1652	12,2013

Com base no coeficiente de determinação (R^2), BIAS (%) e a Raiz quadrada do erro percentual (RMSE%), a função de volume proposta por Schumacher & Hall teve um melhor ajuste quando comparado ao modelo de Spur.

O coeficiente de determinação (R^2) indica a proporção da soma de quadrados total que é explicada pela regressão, sendo uma medida do grau de ajustamento da regressão aos dados (CAMPOS e LEITE, 2013). Em ambas as equações o R^2 foi superior a 97%, sendo, assim, considerados satisfatórios.

Neste estudo, nos dois modelos o BIAS (%) foi inferior a 0,3%, sendo também um valor considerado satisfatório. Segundo Campos e Leite (2013), este índice expressa o desvio médio dos valores estimados em relação aos observados e indica a tendência do modelo em superestimar ou subestimar os valores estimados. Quanto mais próximo a zero a estimativa desta estatística, menor é a magnitude do erro sistemático.

A *RMSE* ("root mean square error") representa o valor real do erro produzido pelo modelo, e deve ser comparada com o valor absoluto da variável estimada (SALLES, 2010). O modelo de Schumacher & Hall apresentou-se com menor erro quando comparado ao modelo de Spurr. Em ambas as equações, este ajuste do modelo foi aceitável.

Ainda com o propósito de melhor interpretar o comportamento das estimativas, foram também gerados gráficos onde, num sistema de coordenadas, foram plotados os valores estimados contra os observados, assim como os resíduos contra o volume estimado, conforme Figuras 2 e 3.

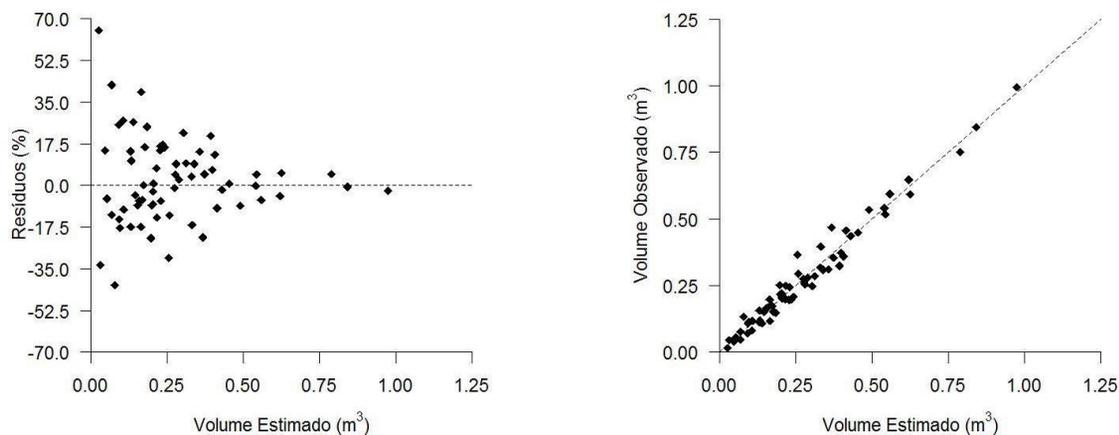


Figura 2: Gráfico de resíduos para o modelo de Spurr

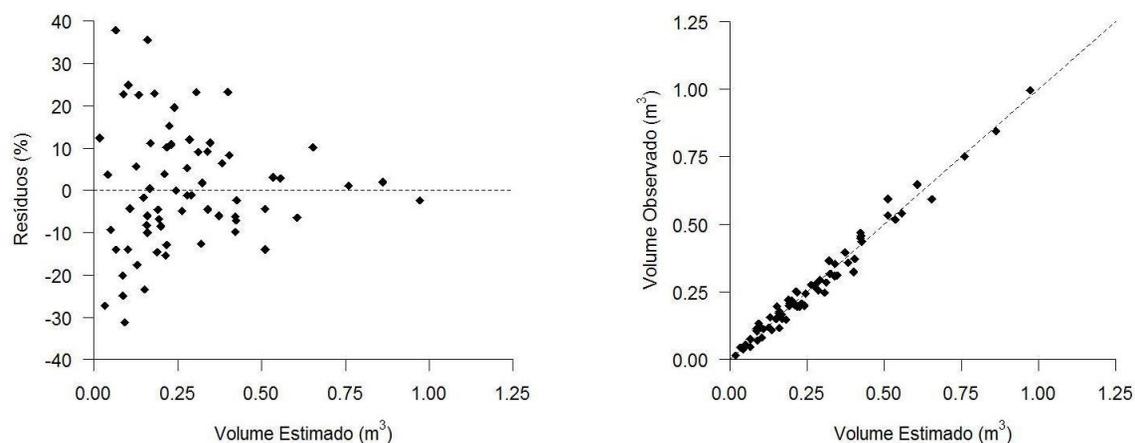


Figura 3: Gráfico de resíduos para o modelo de Shumacher & Hall

Ao analisar as amostras de madeira foi encontrado um valor médio da densidade da madeira de $0,44 \text{ g/cm}^3$ e de carbono de $52,3\%$. Estes valores foram utilizados para cálculo da biomassa e carbono, respectivamente.

De posse da equação volumétrica ajustada, foram obtidos os diâmetros quadráticos e altura média, assim como o volume, carbono e área basal por hectare, para os anos de 2012, 2013 e 2014, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Diâmetro quadrático (cm), altura média (m), volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$), área basal ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e carbono ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$) para os sistemas nas diferentes idades.

Sistemas	Idade (Meses)	q (cm)	H (m)	V ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	B ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)	C ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$)
----- 2012 -----						
EMB 07	57	21,97	25,75	244,02	14,41	56,15
EFB 08	44	14,86	16,81	99,55	7,24	22,91
EB 08	44	13,90	15,21	71,08	5,46	16,36
EFB 09	32	13,15	14,17	72,52	5,79	16,69
EB 09	32	11,72	12,91	47,95	4,10	11,03
----- 2013 -----						
EMB 07	69	23,90	30,11	314,85	17,05	72,45
EFB 08	56	17,70	21,61	161,62	10,29	37,19
EB 08	56	17,18	19,42	126,45	8,50	29,10
EFB 09	44	18,50	21,61	177,57	11,47	40,86
EB 09	44	16,88	19,57	124,90	8,50	28,74
----- 2014 -----						
EMB 07	81	24,23	33,13	339,58	17,53	78,14
EFB 08	68	19,51	23,82	208,62	12,49	48,01
EB 08	68	19,02	21,41	163,56	10,42	37,64
EFB 09	56	20,23	26,29	234,42	13,72	53,95
EB 09	56	18,13	23,12	156,59	9,81	36,03

Analisando individualmente os sistemas com mesmas idades, EFB 08 x EB 08 e EFB 09 x EB 09, foi verificado um maior crescimento nas áreas em que houve o plantio de culturas agrícolas antes do plantio das espécies arbóreas. Esse maior valor observado nos sistemas agrossilvipastoris ocorreu em termos de altura, diâmetro quadrático e, conseqüentemente, em volume, área basal e carbono. Este fato pode ser explicado através do efeito residual dos fertilizantes

que são aplicados e que beneficia o desenvolvimento dos eucaliptos que sucedem essas culturas (COUTO et. al. 2004). Além disso, os tratos culturais como a capina, realizados na cultura agrícola, pode influenciar positivamente o crescimento do eucalipto.

Na Tabela 5, é apresentado o Incremento Médio Anual (IMA), com base nas medições ocorridas nos anos de 2012, 2013 e 2014.

Tabela 5: Incremento médio anual (IMA), em volume, para os sistemas avaliados.

Sistemas	IMA (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)		
	2012	2013	2014
EMB 07	51,3735	54,7564	50,3086
EFB 08	27,1490	34,6319	36,8144
EB 08	19,3860	27,0970	28,8644
EFB 09	27,1947	48,4289	50,2334
EB 09	17,9824	34,0631	33,5545

Ao se analisar o crescimento em volume no decorrer dos anos, ficou constatado que o sistema EMB 07 já atingiu seu máximo IMA, ponto este que define a máxima taxa média de incremento da produção que determinada espécie pode alcançar num local particular (CAMPOS e LEITE, 2013). Isto indica que é necessário realizar o desbaste dessa área para que a competição entre as árvores não afete o crescimento do povoamento.

Já na área EB 09 também houve um decréscimo de IMA entre os anos de 2013 e 2014. Porém, é necessário continuar monitorando a área, pois acredita-se que os indivíduos arbóreos retomem o seu crescimento, pois este não é o comportamento esperado para a idade em que se encontra o sistema.

Em estudo realizado por Oliveira (2008) no município de Alegrete, RS, foi obtido o valor do IMA de 30,6 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para um plantio de *Eucalyptus grandis* com espaçamento 3x3 m (densidade de 1.100 árvores por hectare) aos 7 anos de

idade e antes da realização do desbaste. Ao se comparar este resultado com o sistema EMB 07, a qual possui a mesma idade que o referido estudo, e, também com os outros sistemas com idades menores, nota-se que IMA dos SAFs, que tem um espaçamento mais amplo, é maior ou próximo de valores encontrados para plantios mais adensados.

Por outro lado, tanto nos sistemas mais adensados quanto nos SAFs, se faz necessário a realização do desbaste, para manter o crescimento das árvores e, conseqüentemente, do povoamento. Neste caso, o desbaste é utilizado no manejo do componente arbóreo dos SAFs com a finalidade de concentrar o potencial de produção em um número cada vez menor de indivíduos, favorecendo assim a produção de madeira de melhor qualidade para ser usada como serraria e, ou, poste. Vale ressaltar também que esta prática é uma importante estratégia para a retomada do crescimento de um povoamento florestal (Scolforo 1998) e como forma de aumentar a transmitância da radiação fotossinteticamente ativa para maior produção forrageira (Oliveira Neto et al., 2010).

Em termos de carbono, foi encontrada uma média de 50,75 t por hectare em 2014 para os SAFs e um incremento médio anual em carbono (IMAc) de 8,31 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6: Estocagem de carbono e incremento médio anual em carbono para os sistemas avaliados.

Sistema	Idade (Meses)	Carbono (t.ha⁻¹)	IMAc (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
EMB 07	81	78,14	11,99
EFB 08	68	48,01	7,56
EB 08	68	37,64	5,77
EFB 09	56	53,95	9,65
EB 09	56	36,03	6,56
Média	-	50,75	8,31

Considerando-se a média do incremento em carbono e de IMAc, foi realizado um comparativo destes parâmetros com outros estudos, conforme Tabela 7.

Tabela 7. Comparativo entre o estoque de carbono observado na área de estudo e outros encontrados na literatura para sistemas agroflorestais.

Componente Arbóreo	Referência	Idade (meses)	Densidade (árv.ha⁻¹)	Carbono (t.ha⁻¹)	IMAc (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
Eucalipto	Villanova	-	416	50,75	8,31
Eucalipto+Acácia	Müller et. al. (2009)	120	105	14,29	1,43
Eucalipto	Tsukamoto Filho (2004)	72	250	38,7	6,45

Müller et al. (2009) realizou seu estudo em um sistema silvipastoril misto com 10 anos de idade composto por *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*. O arranjo espacial utilizado foi de 10x3 m, intercalados por faixas de pastagem de 30m de largura, representando uma densidade de 105 árv.ha⁻¹, sendo 60 árvores de eucalipto e 45 árvores de acácia. Como resultados, foi encontrado um estoque estimado de 14,29 tC.ha⁻¹, no qual 11,17 tC.ha⁻¹ estavam estocados no *E. grandis* e 3,12 tC.ha⁻¹ na *A. mangium*, e um IMAc de 1,43 tC.ha⁻¹.ano⁻¹. Neste estudo de Müller, apesar de uma maior idade do povoamento, é notória a contribuição da baixa densidade de árvores para que houvesse uma menor estocagem de carbono quando comparado ao presente estudo.

Já Tsukamoto Filho (2004), ao estudar a fixação de carbono em um SAF integrado por clones de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), arroz (*Oriza sativa* L. cv. Guarany), soja (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Conquista) e braquiária (*Brachiaria brizantha* stapf.) com espaçamento 10x4 m, no município de Paracatu, MG, observou um estoque de carbono no sistema de 38,7 tC.ha⁻¹, aos 6 anos de idade, e um IMAc de 6,45 tC.ha⁻¹.ano⁻¹. Neste caso, mesmo com a idade de plantio próxima ao sistema EMB 07, por exemplo, este estudo idealizado por Tsukamoto

Filho apresentou uma menor estocagem de carbono podendo ser explicado pelo maior espaçamento entre árvores e entre linhas.

5.3. Modelagem de Crescimento e Produção

Com base nos dados advindos do inventário florestal, foram gerados os parâmetros das funções Logística e Gompertz, assim como o coeficiente de correlação (r_{yy}) e o erro padrão residual (s_{xy}), conforme Tabela 8.

Tabela8: Parâmetros, correlação e erro padrão residual para os modelos Logístico e Gompertz

Logística					Gompertz				
$y = \frac{\alpha}{(1 + \beta \cdot e^{(-\gamma t)})}$					$y = \alpha \cdot e^{(s(\beta - \gamma t))}$				
α	β	γ	r_{yy}	s_{xy}	α	β	γ	r_{yy}	s_{xy}
----- Diâmetro Quadrático -----									
35,2113	4,2581	0,0279	0,8509	2,0408	382,2277	1,3474	0,0042	0,8436	2,0879
----- Altura Média -----									
27,7964	10,6036	0,0700	0,822	2,3976	814,8365	1,5259	0,0043	0,797	2,5895
----- Volume -----									
546,1096	31,8402	0,0478	0,8307	49,2568	934,4931	1,5880	0,0190	0,8325	49,0098
----- Área Basal -----									
22,1240	15,4571	0,0483	0,8123	2,4796	177,0444	1,5033	0,0083	0,8085	2,5031
----- Carbono -----									
125,6680	31,8411	0,0478	0,8307	11,3350	215,0337	1,5880	0,0190	0,8325	11,2781

Houve ajuste satisfatório para as diversas variáveis avaliadas em função da idade. Entretanto, o modelo logístico foi o que melhor descreveu o crescimento em volume, carbono e área basal por hectare, assim como o diâmetro quadrático e altura média. Em todos os casos, os dois modelos apresentaram o coeficiente de

correlação (r_{yy}) e o erro padrão residual (s_{xy}) semelhantes. Todavia o comportamento da curva e a interpretação biológica foram fatores determinantes para escolha do modelo.

Os gráficos de crescimento das variáveis em função da idade estão apresentados na Figura 4.

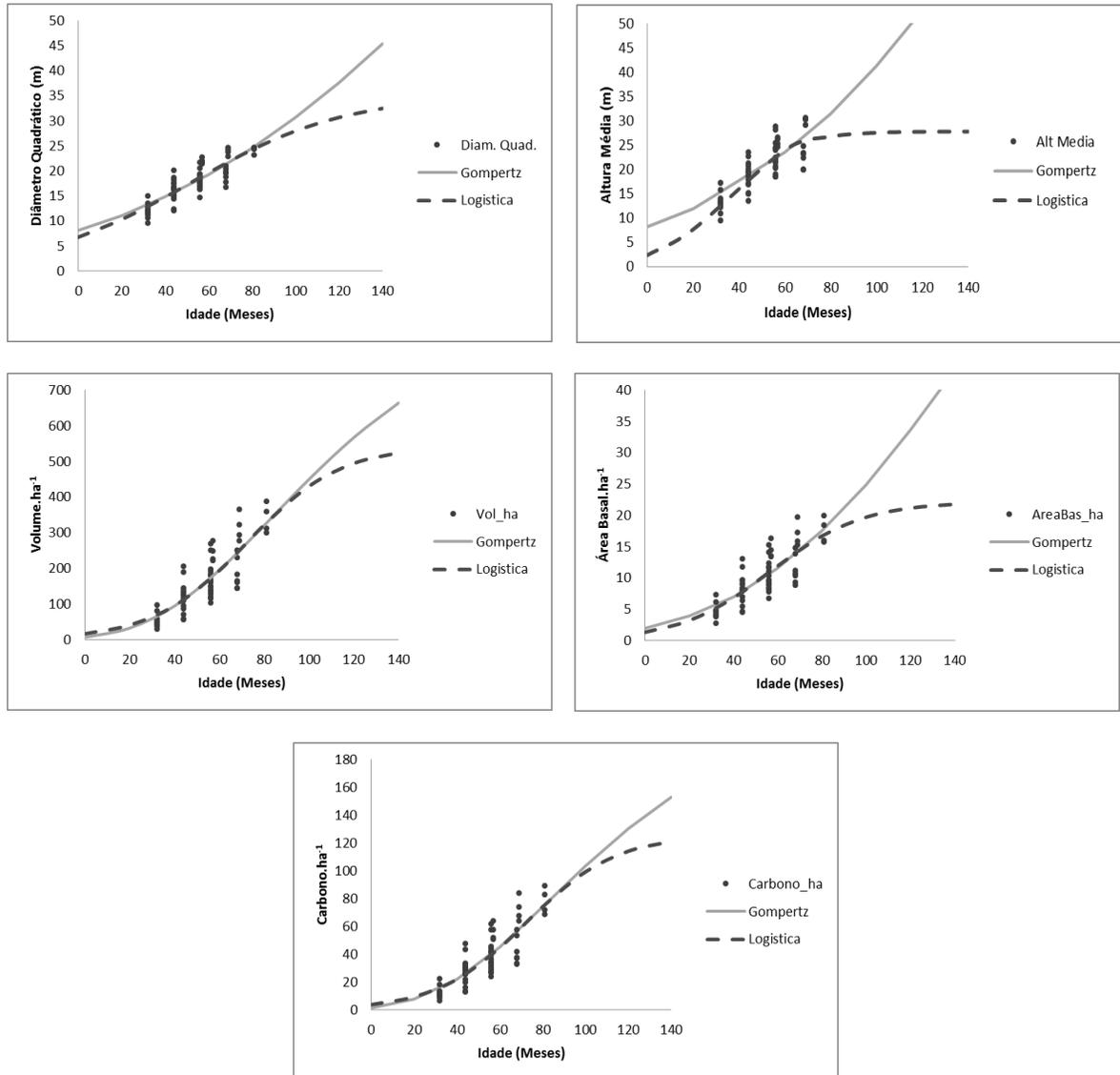


Figura 4: Gráficos de crescimento em diâmetro quadrático (cm), altura média (m), volume (m³.ha⁻¹), área basal (m².ha⁻¹) e carbono (t.ha⁻¹) gerados a partir do modelo logístico.

Ao se analisar os parâmetros obtidos e o comportamento das curvas plotadas no gráfico, foi percebido que a estabilização do crescimento em altura se dará com 28 metros e do diâmetro quadrático com 35 cm. Já o volume e a área basal terão seus crescimentos estabilizados com 546 m³.ha⁻¹ e 22 m².ha⁻¹, respectivamente.

Para carbono, o valor assintótico da curva será próximo a 125 t por hectare. Desta forma, espera-se que os SAFs tenham ainda um incremento em carbono do componente arbóreo de 74,25 t.ha⁻¹ até o seu clímax, caso não haja nenhum desbaste na área.

Porém, se por ventura ocorrer algum desbaste no SAF, tal prática possivelmente não afetaria a estocagem de carbono nos indivíduos arbóreos se pensar em longo prazo. Tal suposição pode ser evidenciada pelo fato de que o carbono das árvores abatidas ficaria imobilizado em sua estrutura, dependendo de seu uso. Além disso, as árvores remanescentes retomariam o seu crescimento, entretanto, alcançando o clímax dessa estocagem em uma idade superior à área sem o desbaste.

Espera-se que esse clímax em estocagem de carbono ocorra próximo aos 130 meses. Já o IMAc máximo ocorrerá próximo aos 96 meses, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Projeção de incremento médio anual em carbono nas diversas idades

Idade (meses)	IMAc (t.ha⁻¹ano⁻¹)
12	6,64
24	5,66
36	6,26
48	7,47
60	8,96
72	10,39

Continua...

... Continuação

Idade (meses)	IMAc (t.ha⁻¹ano⁻¹)
84	11,42
96	11,88
108	11,82
120	11,40
132	10,80
144	10,14

O conhecimento dessa dinâmica do incremento em carbono permite inferir a respeito da contribuição desta estocagem para a neutralização dos GEE emitidos pelos próprios sistemas agroflorestais através da utilização de fertilizantes e da atividade entérica dos bovinos.

Segundo Rodacoski e Andrade (2014), um bovino emite cerca de 0,61 tCO₂e.ano⁻¹. Considerando a média do IMAc encontrado que é de 8,31 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ (=30,47 tCO₂e.ha⁻¹), poder-se-ia neutralizar a emissão de 50 cabeças de gado.

Em trabalho realizado por Castro Neto (2012) nesta mesma área de estudo, foi constatado que os SAFs contribuíram de forma efetiva para diminuir a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, uma vez que todos os sistemas apresentaram um excedente de árvores quando se pensa na neutralização desses gases.

Um dos objetivos propostos pelo estudo de Alves (2014) foi analisar o perfil das emissões e remoções de gases de efeitos estufa em propriedades rurais. A autora considerou as emissões provenientes da criação de animais, do cultivo agrícola e do consumo de energia e de combustíveis fósseis e constatou uma emissão média anual de 3,838 tCO₂e.ha⁻¹ por propriedade. Nesse sentido, verifica-se que o SAF abordado no presente estudo é capaz de compensar as emissões de gases de efeito estufa, mesmo considerando o menor incremento médio anual em carbono encontrado.

Além de auxiliar na mitigação das mudanças climáticas, um balanço positivo de carbono nas propriedades rurais pode, inclusive, levar os produtores a receberem alguns benefícios, dentre eles, certificados ou créditos ambientais e, até mesmo, a valorização de sua produção (ALVES, 2014).

6. CONCLUSÕES

O componente arbóreo dos SAFs possui um crescimento em altura, diâmetro quadrático, área basal, volume e carbono próximo aos valores encontrados para espaçamentos mais adensados.

Nos SAFs com espaçamento 8 x 3 metros, a estabilização do crescimento ocorre por volta dos 7 anos, indicando que o desbaste deve ocorrer antes que atinja esta idade.

O modelo logístico é o que melhor descreve o comportamento de crescimento e produção do componente arbóreo desses sistemas agroflorestais.

As árvores presentes nos SAFs possuem uma alta capacidade de estocagem de carbono próximo à estabilidade do seu crescimento (125 t.ha^{-1}), quando comparado á sistema com espaçamentos mais adensados.

A estocagem de carbono pelo componente arbóreo possui potencial para contribuir na mitigação das emissões de gases de efeito estufa das atividades oriundas da agricultura e da pecuária, e auxiliando o Brasil no cumprimento de sua meta voluntária de redução dessas emissões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. B. B. M. **Mudanças Climáticas: Percepção do Produtor, Balanço de Carbono em Propriedades Rurais e Neutralização de Evento da Universidade Federal de Viçosa.** 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Normas técnicas NBR 11941.** Brasília: ABNT, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura.** Brasília, DF, 2011. 75 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normas Climatológicas (1961-1990).** Brasília: 1992. 84 p.

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 4. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2013. 605 p.

CASTRO NETO, F.C. **Balanço de carbono em uma propriedade com diferentes sistemas agroflorestais localizada na zona da mata de minas gerais.** 2012. 55p. Monografia - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

COUTO, L. et al. **Produção e alocação de biomassa em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** Biomassa & Energia. v 1, n. 4, p. 321 – 334, 2004.

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.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1975. 65 p.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. **Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrissilvipastoril na Zona da Mata Mineira.** Pesquisa Florestal Brasileira, n. 60, p. 11-17, dez. 2009. Edição Especial

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

OLIVEIRA, E.B. de; RIBASKI, J.; ZANETTI, É.A.; PENTEADO JÚNIOR, J.F. **Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil.** Pesquisa Florestal Brasileira, n.57, p.45-56, 2008.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. **Arranjos estruturais do componente arbóreo em Sistema Agrissilvipastoril e seu manejo por desrama e desbaste.** Informe Agropecuário, v. 31, p. 47-58, n. 257, 2010.

PAULA, R.R. **Avaliação Silvicultural de Eucalipto em Monocultivo e em Sistema Agroflorestal com Diferentes Arranjos Espaciais.** 2011. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RATKOWSKY, D.A. **Nonlinear Regression Modeling: a Unified Practical Approach.** Marcel Dekker, New York, INC., p. 61-73. 1983.

RODACOSKI, J. L; ANDRADE, C. F. S. **Cálculos e análises para o plantio de árvores na compensação das emissões de gases do efeito estufa emitido pelo gado.** Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, v.10, p. 633 – 645, n.2, 2014.

SALLES, T. T. **Modelagem de crescimento e produção de clones de eucalipto em um sistema agroflorestal**. 2010. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.

SEBER, G.A.F.; WILD, C.J. **Nonlinear regression**. New York: John Wiley, 1989. 792p.

SOUZA, A. N. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp em sistemas agroflorestais**. 2005. 203 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TSUKAMOTO FILHO, A.A. **Fixação de carbono em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto na região do Cerrado de Minas Gerais**. Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2004.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984.