

DANIEL BRIANEZI

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM PROPRIEDADES RURAIS:  
MÉTODO E APLICAÇÕES**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

B849b Brianezi, Daniel, 1986-  
2015 Balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais :  
método e aplicações / Daniel Brianezi. – Viçosa, MG, 2015.  
xi, 138f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Efeito estufa (Atmosfera). 2. Dióxido de carbono atmosférico - Medição. 3. Mudanças climáticas. 4. Agricultura - Aspectos ambientais. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 551.5112

DANIEL BRIANEZI

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM PROPRIEDADES RURAIS:  
MÉTODO E APLICAÇÕES**

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

**APROVADA: 16 de outubro de 2015.**

---

**Gumercindo Souza Lima**

---

**Sílvio Nolasco de Oliveira Neto**

---

**Aurea Maria Brandi Nardelli**

---

**Dênis Antônio da Cunha**

---

**Laércio Antônio Gonçalves Jacovine  
(Orientador)**

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim” – Chico Xavier*

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente, você estará fazendo o impossível” – São Francisco de Assis*

## AGRADECIMENTOS

A Deus e aos mentores espirituais pela sabedoria e por nortear meus caminhos.

À família Brianezi, em especial meus pais Zenóbio e Laurete e minha irmã Priscila por todo amor, carinho e presença, mesmo quando a distância não permitia.

À família Bertolato e Vicente, segunda família, pelo apoio e alegrias.

À minha noiva Rafaela por todo amor, respeito e paciência.

Ao Prof. Laércio Jacovine, mestre e amigo que me ensinou não apenas questões técnicas e profissionais, mas também valores humanos.

Ao Prof. Timothy A. Martin, colegas de laboratório e a University of Florida pela oportunidade e aprendizado adquirido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

Aos membros e ex-membros do Grupo de Estudos em Economia Ambiental – GEEA e a todos do Projeto Carbono Zero por todo aprendizado e amizade, em particular Breno, Bruno, Ricardo, Samuel e Vicente que auxiliaram na coleta de dados.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, em especial: Babi, Breda, Carlos, Casali, Cris, Erlon, Fabiano, Gláucio, Liniker, John, Vanessa e Tito, além dos amigos do Nucleus.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal e da Universidade Federal de Viçosa que, durante estes 10 anos, colaboraram muito na minha jornada profissional.

Ao Prof. Gumercindo Souza Lima pela amizade, oportunidade e confiança no trabalho junto ao Projeto Carbono Zero.

Ao Alexandre, Ritinha e todos os amigos e colegas do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal pela atenção e companhia.

À Eng. Florestal Joana e aos colegas da Waycarbon pelo bom trabalho realizado e aprendido.

Aos produtores rurais e ao Instituto Terra que abriram as portas para a realização deste estudo.

Aos companheiros de república: Capixaba, Felipe, Henrique, Marolo, Remo e Ronan pelas boas risadas e ensinamentos.

E a todos os meus amigos de Viçosa e do mundo por estarem sempre presentes.

## **BIOGRAFIA**

Daniel Brianezi, filho de Zenóbio Brianezi e Laurete da Conceição Brianezi, nasceu no dia 01 de dezembro de 1986, na cidade de Pouso Alegre, sul de Minas Gerais.

Em 2004, concluiu o ensino médio no Instituto de Educação e Ensino de Pouso Alegre, na mesma cidade.

Em 2005, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, tendo concluído em janeiro de 2010.

Em março de 2010, ingressou no programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, tendo concluído em fevereiro de 2012.

Em março de 2012, ingressou no programa de Pós-Graduação, em nível de doutorado, em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa da dissertação em agosto de 2015.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVO GERAL .....	4
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
CAPÍTULO 1 .....	8
ESTOQUE E INCREMENTO DE CARBONO EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL NA BACIA DO RIO DOCE, MG.....	8
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4. CONCLUSÃO .....	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
CAPÍTULO 2 .....	39
BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM MONOCULTIVO DE EUCALIPTO NA ZONA DA MATA MINEIRA .....	39
1. INTRODUÇÃO .....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
4. CONCLUSÃO .....	56
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
CAPÍTULO 3 .....	60
BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS NA ZONA DA MATA MINEIRA .....	61



1. INTRODUÇÃO .....	61
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
4. CONCLUSÃO .....	81
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
CAPÍTULO 4 .....	87
SISTEMA CARBONO ZERO: CÁLCULO DE BALANÇO DE GEE EM PROPRIEDADES RURAIS .....	87
1. INTRODUÇÃO .....	87
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	90
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	97
4. CONCLUSÃO .....	116
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	117
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	119
APÊNDICE A .....	121
APÊNDICE B .....	125
APÊNDICE C .....	128
APÊNDICE D .....	134

## RESUMO

BRIANEZI, Daniel, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2015. **Balanco de gases de efeito estufa em propriedades rurais: método e aplicações.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Diante do cenário de alterações climáticas e da demanda crescente por ações de redução e mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é necessário propor medidas que colaborem com políticas de atenuação das emissões de GEE, em especial na área rural – principal fonte emissora de gases de efeito estufa no Brasil. Deste modo, o objetivo geral deste estudo foi levantar dados primários e secundários de carbono florestal e desenvolver e implementar um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais. A tese foi dividida em quatro capítulos: Capítulo 1 - Estoque e incremento de carbono em Floresta Estacional Semidecidual na Bacia do Rio Doce, MG; Capítulo 2 – Balanço de gases de efeito estufa em monocultivo de eucalipto em Lamim, MG, Capítulo 3 – Balanço de gases de efeito estufa em sistemas silvipastoris em Porto Firme, MG, e Capítulo 4 – Sistema Carbono Zero: Cálculo de balanço de GEE em propriedades rurais. No Capítulo 1 estimou-se o estoque e incremento de carbono presente na biomassa viva acima e abaixo do solo em uma propriedade rural localizada na Bacia do Rio Doce em Minas Gerais. O carbono presente acima do solo foi o compartimento que apresentou maior estimativa, representando 81,93% do valor total. A estimativa de estoque e do IMA de carbono encontrado neste estudo foi igual a 39,90 Mg.ha<sup>-1</sup> e 3,17 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. *Plathymenia foliolosa* (vinhático) e *Paratecoma peroba* (peroba) apresentaram maior média de carbono estocado (712,39 KgC.indivíduo<sup>-1</sup> e 709,45 KgC.indivíduo<sup>-1</sup>, respectivamente). *Senna multijuga* (canafístula) é a espécie que possui maior IMA de carbono, 7,79 KgC.ind.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. No Capítulo 2 estimou-se o balanço de remoções e emissões de GEE em monocultivo de eucalipto localizado na zona rural de Lamim, MG.

Analisou-se quatro áreas com espaçamentos diferentes (2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m) de *E.urophylla* x *E.grandis* aos 18 e 32 meses. O estoque de carbono foi maior nos plantios mais adensados, variando de 2,53 a 10,51 Mg.ha<sup>-1</sup>, aos 18 meses e 12,72 e 24,78 Mg.ha<sup>-1</sup>, aos 32 meses. Os valores de Incremento Médio Anual (IMA) de carbono diminuiram de acordo com o aumento da área útil por planta, variando entre 1,68 e 4,71 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para espaçamento 3 x 3 m, aos 18 e 32 meses, respectivamente, e 7,0 e 9,18 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o espaçamento 2 x 1 m, aos 18 e 32 meses de idade, nesta ordem. O monocultivo de eucalipto apresentou balanço de GEE positivo para as quatro áreas, em média, 19,43 MgCO<sub>2e</sub> aos 18 meses e 67,80 MgCO<sub>2e</sub> aos 32 meses. No Capítulo 3 estimou-se o balanço de remoções e emissões de GEE em sistemas silvipastoris localizados em Porto Firme, MG. Analisou-se quatro sistemas silvipastoris com *E.urophylla* x *E.grandis* sob diferentes espaçamentos, clones e idades localizados na propriedade rural A (S-1A, S-2A, S-3A e S-4A) e dois sistemas silvipastoris implantados na propriedade B (S-1B e S-2B). Todos os sistemas silvipastoris avaliados possuem balanço de carbono positivo. O sistema S-3A, por apresentar maior estoque de carbono, obteve também balanço de carbono superior aos demais. Além disso, em todos os sistemas avaliados, o gado é a principal fonte emissora de GEE. No Capítulo 4, final, objetivou-se desenvolver, implementar e validar um sistema de cálculo de balanço de GEE denominado Sistema Carbono Zero. O sistema mostrou-se eficiente e útil como ferramenta de apoio à implantação de projetos e ações de mitigação das alterações climáticas junto aos produtores rurais. Além disso, o componente arbóreo contribuiu de forma favorável para o balanço de GEE em propriedades rurais e, conseqüentemente, para a mitigação das alterações climáticas.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas, Agricultura de Baixo Carbono, Remoção de CO<sub>2</sub>, Emissão de CO<sub>2</sub>

## ABSTRACT

BRIANEZI, Daniel, D.Sc., Federal University of Viçosa, October, 2015. **Greenhouse gases balance in farms: method and application.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Based on climate changes scenario and demand rise by Greenhouse Gases (GHG) reduction and mitigation activities is important to propose methods to collaborate with GHG reduction policies, especially in rural areas – main Brazilian GHG source. Thus, this study aimed to evaluate the GHG balance of farms, develop and implement a GHG balance system. The thesis contains four chapters: Chapter 1 - Stock and carbon increase in seasonal semideciduous tropical forest in Bacia do Rio Doce, MG ; Chapter 2 - Greenhouse gas balance by eucalyptus monoculture in Lamim, MG; Chapter 3 - Greenhouse gas balance by silvopastoral systems in Porto Firme, MG; and Chapter 4 - Carbono Zero System: GHG balance of farms. In Chapter 1 we estimate stock and carbon increment in aboveground and belowground biomass in farm located in Bacia do Rio Doce, Minas Gerais. The aboveground biomass pool showed highest estimative, 81.93% of total. The estimative of carbon stock and annual average increment were equal to 39.90 Mg $\cdot$ ha $^{-1}$  and 3.17 Mg $\cdot$ ha $^{-1}$  yr $^{-1}$ , in this order. *Plathymenia foliolosa* (vinhático) and *Paratecoma peroba* (peroba) showed higher average of carbon stock (712.39 KgC.tree $^{-1}$  and 709.45 KgC.tree $^{-1}$ , respectively). *Senna multijuga* (canafístula) has superior Annual Average Increment (AAI) of carbon, 7.79 KgC.tree $^{-1}$ .yr $^{-1}$ . In Chapter 2 we estimate the removals and GHG emission balance in Eucalyptus monoculture located in Lamim, MG. We evaluated four areas of *E.urophylla* x *E.grandis* at 18 and 32 months under different tree densities (2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m) and GHG emissions from planting management. The carbon stock was higher for elevated tree density areas ranged from 2.53 to 10.51 Mg $\cdot$ ha $^{-1}$  at 18 months

and between 12.72 and 24.78 Mg.ha<sup>-1</sup> at 32 months. The AAI values decreased according to elevation of area by tree, 1.68 – 4.71 MgC.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> for 3 x 3 m at 18 and 32 months, respectively, and 7.0 and 9.18 MgC.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> for 2 x 1 m, at 18 and 32 months, in this order. The Eucalyptus monoculture presented positive GHG balance for all rural areas, on average, 19.43 MgCO<sub>2</sub> at 18 months and 67.80 MgCO<sub>2e</sub> at 32. In Chapter 3 we estimated the removals and GHG emissions in silvopastoral systems located in Porto Firme, MG. We analyzed four silvopastoral systems of *E.urophylla* x *E.grandis* under different tree density, clones and age for farm A (S-1A, S-2A, S-3A and S-4A) and two silvopastoral systems in rural property B (S-1B and S-2B). All silvopastoral systems showed positive carbon balance. The S-3A system has higher carbon stock and carbon balance superior them. Moreover, cattle is the main GHG source. The final Chapter, Chapter 4, aimed to develop, implement and validate a GHG balance system, named Carbono Zero System. The system proved efficient and useful as support appliance to develop projects and activities of climate changes mitigation with farmers. Furthermore, the trees contributed positively to the GHG balance on farms and, consequently, to climate change mitigation.

**Key-words:** Climate change, Low-carbon agriculture, CO<sub>2</sub> removal, CO<sub>2</sub> emission

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMA), instituída em 2009 por meio da Lei nº. 12.187/2009, oficializa o compromisso voluntário de redução das emissões de gases de efeito estufa do Brasil entre 36,1% e 38,9% do que era emitido em 2005, a ser cumprido até 2020 (BRASIL, 2009). A fim de atender o compromisso nacional, o Decreto nº 7.390/2010 determina a elaboração de Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação das Mudanças Climáticas, a partir de ações, indicadores, metas e mecanismos de verificação que colaborarão com a revisão do PNMA.

Dentre os Planos Setoriais concluídos, destacam-se o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAM); Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado (PPCerrado); Plano Decenal de Energia (PDE); Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC); Plano Setorial de Mitigação da Mudança Climática para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação – Plano Indústria; Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono (PMBC); Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação da Mudança do Clima (PSTM) e o Plano Setorial de Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima (MMA, 2015).

A maioria dos Planos Setoriais anteriormente descritos relaciona-se com o setor florestal, evidenciando o grande potencial de contribuição em projetos de remoção e redução de carbono, como iniciativas de Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD+), Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL florestal) e outras iniciativas em nível multilateral, como o próprio Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões (MBRE) (ABRAF, 2013).

O Brasil possui 463 milhões de hectares de florestas que correspondem a 54,40% do território nacional. Cerca de 98% deste total referem-se às florestas nativas, que estocam

81.109 milhões de toneladas de carbono. A Amazônia é responsável por 85% deste valor (MMA, 2013).

Espécies florestais de rápido crescimento como o eucalipto, que corresponde a 76,6% das florestas plantadas no Brasil (5,10 milhões de ha), apresentam altas taxas de crescimento vegetativo e absorção de carbono, e configuram, portanto, importante sumidouro de carbono terrestre (YU, 2004; STAPE et al., 2008; ABRAF, 2013).

Estudos têm sido realizados para estimar o estoque de biomassa e carbono em ecossistemas florestais (PAIXÃO, 2004; GATTO et al., 2011; ROCHA, 2011; SCHUMACHER et al., 2011) e em sistemas agroflorestais (TSUKAMOTO FILHO et al., 2004; PRIMAVESI et al., 2007; MACEDO, 2009; MÜLLER et al. 2009). No entanto, há ainda poucas pesquisas como as desenvolvidas por Lopes (2013) e Torres (2015) que comparem o estoque e o incremento de carbono pelas florestas e as emissões de GEE na propriedade rural, gerando balanço de carbono.

Além disso, a produção de biomassa em plantios florestais ou de restauração é influenciada por diversos fatores, como arranjo, manejo e espaçamento de plantio (REIS e KAGEYAMA, 2003, LACERDA et al., 2009; FERREZ, 2011; STUCCHI, 2013). Com isto, torna-se importante a obtenção de estimativas confiáveis de estocagem de carbono (HIGUCHI et al., 2004) para plantios florestais e sistemas silvipastoris, considerando-se os vários fatores de influência.

A propriedade rural conhecida pelos serviços ambientais prestados, dentre eles a fixação de carbono atmosférico, é fonte também de emissão de GEE. Por outro lado, o produtor rural, muitas vezes, tem dificuldades de identificar tais fontes emissoras e propor medidas de redução, bem como propor melhorias produtivas que potencializem o sequestro de carbono. Ademais, não há no Brasil um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais, o que torna difícil o avanço na implementação de iniciativas de baixo carbono e obtenção, muitas vezes, de crédito rural por parte do produtor rural por meio do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), por exemplo.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho estimar o estoque e emissão de carbono em propriedades rurais e desenvolver e implementar um sistema de cálculo de balanço de carbono em tais propriedades.

Para melhor entendimento, o trabalho foi dividido em quatro capítulos, descritos a seguir.

Capítulo 1 – Estoque e incremento de carbono em área de restauração florestal localizada em Aimorés, MG

Capítulo 2 – Balanço de gases de efeito estufa em monocultivo de eucalipto localizado em Lamim, MG.

Capítulo 3 – Balanço de gases de efeito estufa em sistemas silvipastoris localizados em Porto Firme, MG.

Capítulo 4 – Sistema Carbono Zero: Cálculo de balanço de gases de efeito estufa em propriedades rurais.



## **2. OBJETIVO GERAL**

Estimar, desenvolver e implementar um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais.

### **2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o estoque e o incremento de carbono em plantios florestais e sistemas silvipastoris localizados em Minas Gerais e o potencial de contribuição dos mesmos para atenuação das mudanças climáticas;
- Estimar o balanço de carbono em propriedades rurais sob diferentes sistemas florestais e atestar a importância do componente florestal para tornar este balanço positivo;
- Desenvolver e implementar um sistema de cálculo de balanço de carbono que possa ser utilizado em propriedades rurais de diferentes regiões do Brasil;
- Atestar a importância do Sistema Carbono Zero para estimar o balanço de carbono em propriedades rurais e para auxiliar na proposição de iniciativas de baixo carbono que colaborem com a melhor gestão dos recursos produtivos, obtenção de créditos rurais por parte dos produtores rurais e implementação de políticas públicas nacionais relacionadas ao clima.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012. 8ª ed. Brasília, 2013. 148p.

BRASIL. Lei no. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/12187.htm)>. Acesso em: 29 abr. 2015.

FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica.** 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.4, 2011, p.895-905.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIKEL, J. L. Estimativa de biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVM**, Piracicaba, v.5, p.1-23, 2009.

LOPES, N.L. **Potencial de neutralização das emissões de gases de efeito estufa na pecuária leiteira pelos sistemas silvipastoris.** 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2013.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Política Nacional sobre Mudança do Clima. **Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação.** Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo 2013**. Sistema Florestal Brasileiro. Dados de 2007-2012. Brasília: SFB, 2013, 188p.

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

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do Estoque de Carbono em Floresta Plantada de Eucalipto e Avaliação Econômica de Diferentes Alternativas de Manejo**. 2004. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2004.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. dos S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 200p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 70).

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: Restauração ecológica de ecossistemas naturais (KAGEYAMA, P Y; OLIVEIRA, R E; MORAES, L F D; ENGEL, V L; GANDARA, F B.). FEPAF: Botucatu, SP, p. 91-110, 2003.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG, 2011.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.1, p.17-22, 2011.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.255, n.3/4, p.920-930, 2008.

STUCCHI, G. B. **Estimativa dos estoques de carbono na parte aérea de reflorestamentos de espécies nativas e remanescentes florestais**. 2013. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

TORRES, C. M. M. E. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG.** 83f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2015.

TSUKAMOTO FILHO, A.A.; COUTO, L.; NEVES, J.C.L.; PASSOS, C.A.M.; SILVA, M.L. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do Cerrado de Minas Gerais. **Revista Agrossilvicultura**, v.1, p.29-41, 2004.

YU, C. M. Sequestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume; IEB, 2004. 208p.

## **CAPÍTULO 1**

### **ESTOQUE E INCREMENTO DE CARBONO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL LOCALIZADA EM AIMORÉS, MG**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A Mata Atlântica é considerada um *hotspot* para conservação ambiental devido a sua biodiversidade e endemismo (MYERS et al., 2000). Atualmente, é o bioma brasileiro com menor cobertura vegetal, restando apenas 8,5% de sua área original, devido ao histórico processo de colonização e urbanização ocorrido (IBGE, 2015).

Estas áreas alteradas estão cobertas hoje por pastagens, em sua maioria manejadas inadequadamente ou abandonadas, alterando os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo e da paisagem. O uso de técnicas de recuperação de áreas degradadas vem se consolidando como uma importante estratégia de adequação ambiental, tanto em propriedades públicas quanto particulares (AZEVEDO, 2012).

O reflorestamento é uma prática que colabora na retomada das funções produtivas locais e no restabelecimento da diversidade biológica e dos processos ecológicos existentes anteriormente. Deste modo, em áreas rurais degradadas, iniciativas de reflorestamento como plantios florestais com espécies nativas e regeneração natural tornam-se cada vez mais importantes.

Além disso, o reflorestamento contribui para a mitigação das mudanças climáticas, por meio da fixação do dióxido de carbono atmosférico pelas plantas (MELO e DURIGAN,

2006; STUCCHI, 2013). Assim, tem sido incentivado o desenvolvimento de projetos de carbono na área florestal.

Atualmente, projetos de florestamento e reflorestamento são elegíveis no âmbito do Protocolo de Quioto, por meio de projetos vinculados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Paralelamente, iniciativas voluntárias como a neutralização de gases de efeito estufa tem sido muito utilizadas por diferentes segmentos da economia a fim de obterem diferencial de mercado e contribuir para a atenuação das mudanças climáticas.

Desta maneira, torna-se importante estimar a contribuição das áreas de reflorestamento com relação à geração de serviços ambientais como o sequestro de carbono, principalmente em áreas com histórico de práticas bem-sucedidas de restauração vegetal como ocorre na Fazenda Bulcão localizada no município mineiro de Aimorés.

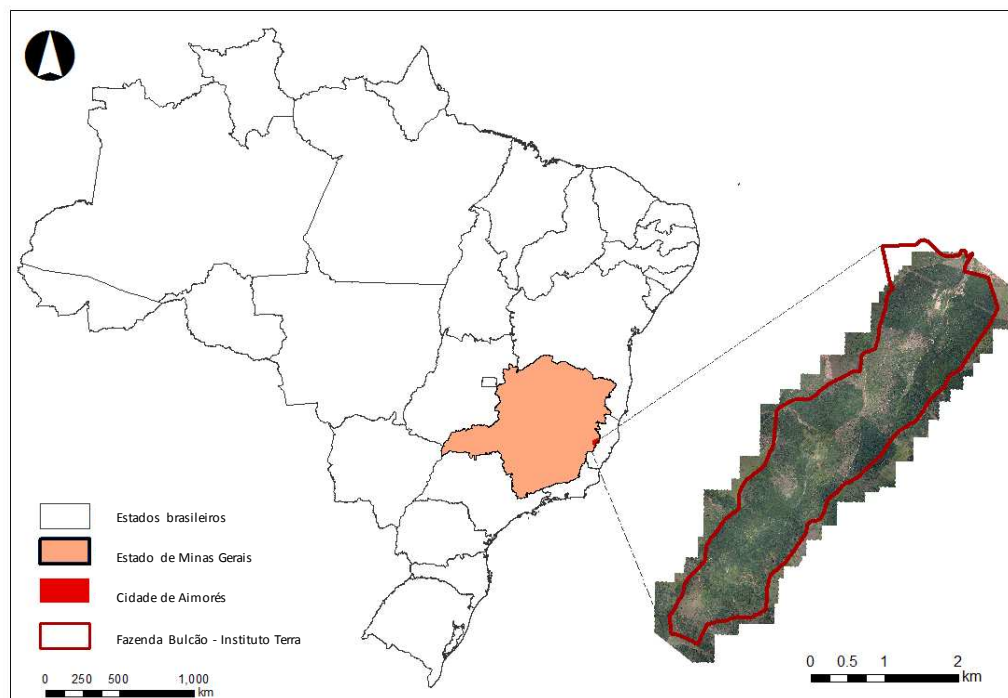
Ainda que haja um número cada vez maior de estudos que avaliem o estoque de carbono em áreas de Mata Atlântica, ainda são escassos aqueles desenvolvidos em áreas de plantio florestal, em especial que tratam do incremento médio anual de carbono (MELO & DURIGAN, 2006; LACERDA et al., 2009; FERREZ, 2010; AZEVEDO, 2012).

Assim, objetivou-se com este estudo quantificar o estoque e o incremento de carbono presente na biomassa viva acima e abaixo do solo das áreas com cobertura florestal na Fazenda Bulcão, localizada em Aimorés, Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Bulcão, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), pertencente à ONG Instituto Terra, no município de Aimorés, estado de Minas Gerais. A propriedade, de 709,84 ha, está localizada na Bacia do Rio Doce, entre as coordenadas geográficas 19°22'45" S e 41°25'45" W, e 19°56'95" S e 40°58'40" W (BASTOS, 2010) (Figura 1.1).



Fonte: Waycarbon, 2013.

Figura 1.1 – Localização geográfica da Fazenda Bulcão no município de Aimorés, MG.

O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw, tropical caracterizado por verões quentes e estação seca no inverno (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 28°C com precipitação média anual de 953 mm e umidade relativa de 65% (BASTOS, 2010). O relevo da região é acidentado com altitude média de 300 m e predominância pedológica de latossolos e a fitofisionomia da região é caracterizada, predominantemente, por Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas (IBGE, 2012).

A Fazenda Bulcão possui, atualmente, uma área de 709,84 ha, sendo 679 ha de vegetação arbórea. No entanto, antes do ano 2000, a área de estudo se encontrava extremamente degradada, cenário semelhante ao encontrado em outras propriedades da região.

O desmatamento generalizado, atividades agrícolas realizadas sem planejamento e a construção da ferrovia Vitória-Minas acarretaram a degradação ambiental da região (BASTOS, 2010). Como resultado, a cobertura vegetal do município de Aimorés foi reduzida a pouco menos de 0,3% durante um período de 70 anos (PAULA, 1998). Os proprietários da fazenda realizaram, então, um intensivo e contínuo processo de recuperação dos locais degradados. Para isto, plantou-se espécies nativas da Mata Atlântica e exóticas em toda a propriedade.

De forma geral, as mudas das espécies arbóreas foram plantadas em espaçamento 2 x 2 m, utilizando espécies pioneiras (60%) e não pioneiras (40%). Entretanto, a área de estudo possui também locais de regeneração natural e alguns indivíduos arbóreos remanescentes.

Diante da importância ambiental e social desta Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) para a região de Aimorés e do trabalho de restauração florestal que é conduzido no local optou-se pela Fazenda Bulcão para condução deste estudo.

## **2.2. Coleta de dados**

### **2.2.1. Base de dados**

Foram utilizados dados de campo presentes em documentos da própria instituição, diretrizes estabelecidas por Pearson et al. (2005) e pelo 2006 *IPCC Guidelines for National*



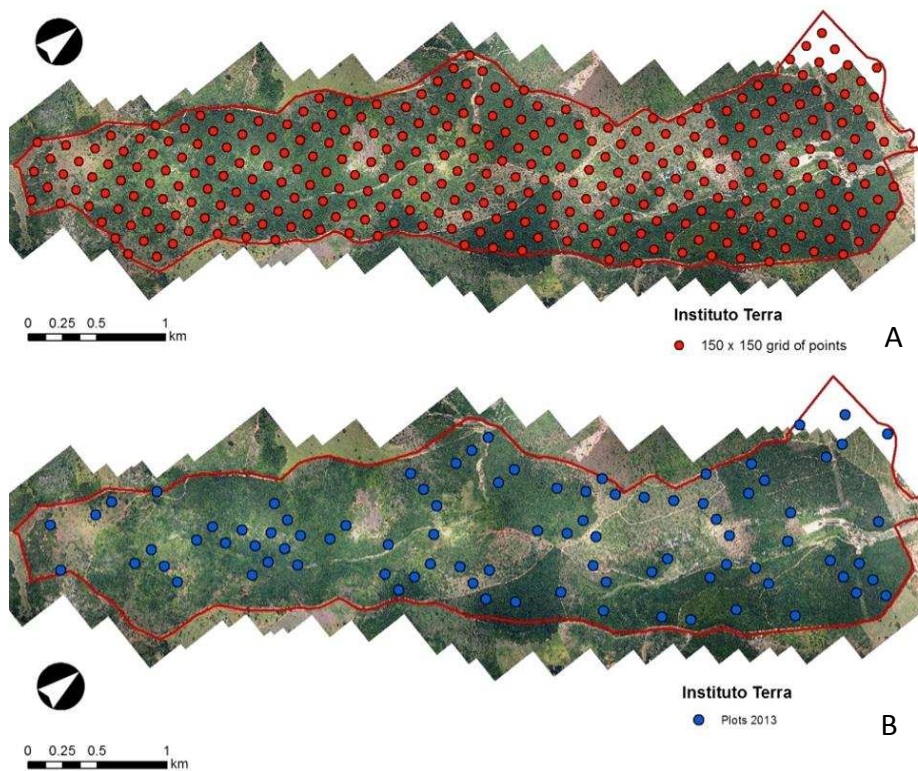
*Greenhouse Gas Inventories* a fim de estimar o estoque de carbono presente na área com cobertura florestal no local de estudo.

Os sumidouros de carbono avaliados neste trabalho foram: vegetação acima e abaixo do solo, conforme recomendado pelo *AFOLU Sector for the Forest Land Use Category* (IPCC, 2006). Além disso, uma imagem aérea com resolução espectral de 80 cm referente ao ano 2013 serviu de base para o planejamento das atividades de campo.

### **2.2.2. Lançamento de parcelas**

Com base na imagem aérea gerou-se um mapa de uso e ocupação do solo do local de estudo. Excluídas as áreas edificadas, afloramentos de rochas e outras áreas sem vegetação arbórea, obteve-se uma área total com cobertura vegetal de 679 ha para o ano de 2013, sete vezes superior ao encontrado para o mesmo local no ano 2000.

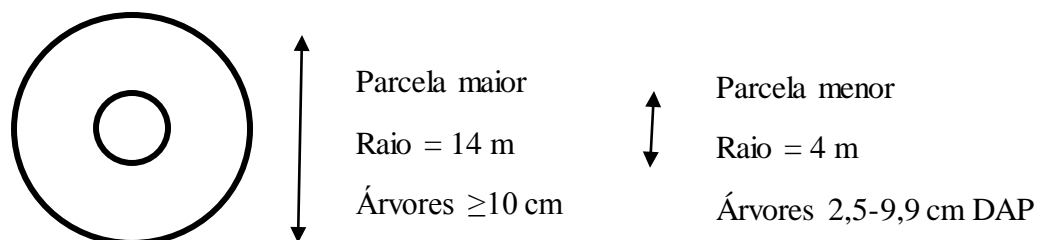
Gerou-se um grid de pontos, separados 150 m um do outro, cobrindo toda a área do estudo, utilizando o software ArcGis 10.1. Posteriormente, baseado em estudos de biomassa e carbono similares desenvolvidos na Mata Atlântica (TIEPOLO et al., 2002; VIEIRA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2010), nas características da área (ex.: declividade, biomassa estimada etc), no tamanho das parcelas e no nível de precisão requerido (95% de nível de confiança), calculou-se o número de pontos que deveriam ser amostrados de forma aleatória, totalizando 88 (28% do total) (Figura 1.2).



Fonte: Waycarbon, 2013.

Figura 1.2 – Grid de pontos equidistantes 150 m (A) e localização das parcelas circulares lançadas aleatoriamente (B) na área de estudo, Aimorés, MG.

Foram lançadas duas parcelas circulares em cada ponto escolhido. Uma parcela maior de 14 m de raio, na qual mensurou-se árvores igual ou maior a 10 cm de DAP e uma parcela de 4 m de raio, cujas árvores entre 2,5 e 9,9 cm de DAP e altura igual ou superior a 1,3 m foram medidas, conforme Pearson et al. (2013) (Figura 1.3).



Fonte: Adaptado de Pearson et al. (2013)

Figura 1.3 – Representação das parcelas circulares adotadas no estudo conduzido em Aimorés, MG.

Parcelas do tipo *nested*, ou seja, aquelas que contém sub-parcelas de diferentes tamanhos em seu interior, têm apresentado um custo-benefício menor e o uso destas parcelas, no formato circular, necessita de equipamento que mensure a distância horizontal de cada árvore para o centro da parcela (DME – *Distance Measuring Equipment*) (PEARSON et al., 2013). Baseado nisso, utilizou-se o hipsômetro Vertex IV para definir a inclusão dos indivíduos arbóreos. Posteriormente, converteu-se a área de cada parcela para hectare.

### **2.3. Quantificação de biomassa e carbono**

#### **2.3.1. Biomassa e carbono acima do solo**

##### **2.3.1.1. Árvores vivas**

Para todas as árvores vivas, realizou-se a identificação taxonômica dos indivíduos arbóreos através da coleta de material botânico (folhas, flores e/ou frutos), conhecimento prévio de técnicos do próprio local, além de consulta a materiais bibliográficos. A nomenclatura dos binômios foi feita mediante análise na base de dados de Mobot (2011), a das famílias botânicas baseou-se nos sistemas *Angiosperm Phylogeny Group* - APG III (2009).

Posteriormente, mensurou-se o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, a 1,30 m do solo) com o auxílio de uma fita métrica e a altura total dos indivíduos arbóreos (Ht) utilizando o hipsômetro Vertex IV.

Árvores com  $DAP \geq 5$  cm tiveram sua biomassa estimada pela Equação 1.1 oriunda do modelo de Schumacher e Hall (1977) (SCOLFORO et al., 2008), desenvolvida especificamente para a região, e para árvores com  $DAP < 5$  cm adotou-se a Equação 1.2 (SCATENA et al., 1993).

$$\ln AGB = -10,439791707 + 2,1182873001 * \ln DAP + 0,8339834928 * \ln H \quad [1.1]$$

$$R^2_{\text{ajust.}} = 96,75\%; S_{yx} = 46,26\%$$

$$AGB = EXP(-3,282 + 0,95 * \ln DAP^2 * H) \quad [1.2]$$

$$R^2_{\text{ajust.}} = 94,70\%; S_{yx} = 48,17\%$$

em que:

AGB = Biomassa Acima do Solo, em Mg;

DAP = Diâmetro à Altura do Peito (1,30 m do solo), em cm; e

H = Altura total da árvore, em m

A biomassa das palmeiras foi calculada de acordo com a Equação 1.3 (Pearson et al. 2005):

$$AGB = 6,666 + (12,826 * H)^{0,5} * \ln H \quad [1.3]$$

### 2.3.1.2. Árvores mortas em pé

Para as árvores mortas em pé, mensurou-se o diâmetro na base e no topo das árvores (Equação 1.4) (IPCC, 2006).

$$DW = \left( \frac{1}{3} * \pi * H * (r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2) \right) * \bar{\rho} \quad [1.4]$$

em que:

DW = Biomassa das árvores mortas em pé, em g;

$\bar{\rho}$  = Média da densidade específica da madeira dos indivíduos arbóreos, em g.cm<sup>-3</sup>,

r<sub>1</sub> = Raio da base da árvore, em m;

r<sub>2</sub> = Raio do topo da árvore, em m; e

H = Altura total da árvore, em m

A densidade básica da madeira foi obtida com base no levantamento arbóreo realizado no local de estudo e em dados de literatura. Deste modo, adotou-se densidade básica de madeira média igual a 0,58 g.cm<sup>-3</sup>.

### 2.3.2. Biomassa abaixo do solo

A biomassa abaixo do solo foi estimada baseada na biomassa acima do solo conforme Equação 1.5 (MOKANY et al., 2006).

$$\begin{aligned} & \text{se } AGB < 125 \text{ Mg.ha}^{-1}, BGB (\text{Mg.ha}^{-1}) = 0,20 * AGB; \text{ ou} \\ & \text{se } AGB > 125 \text{ Mg.ha}^{-1}, BGB (\text{Mg.ha}^{-1}) = 0,24 * AGB \quad [1.5] \end{aligned}$$

### 2.3.3. Estimativa de carbono

As estimativas de carbono por compartimento foram calculadas baseadas nos valores de biomassa usando o fator 0,47 (IPCC, 2006).

### 2.3.4. Incremento médio anual de carbono

O Incremento Médio Anual (IMA) de carbono para os indivíduos arbóreos com idade de plantio determinada foi calculado segundo Equação 1.6.

$$IMA = \frac{E_i}{i} \quad [1.6]$$

em que:

IMA = Incremento Médio Anual de carbono, em Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>

E<sub>i</sub> = Estoque de carbono estimado, em Mg.ha<sup>-1</sup>

*i* = período de tempo (ano)

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Estoque de carbono

A estimativa média de carbono total obtida foi de 39,90 Mg.ha<sup>-1</sup>, sendo que 81,93% deste valor correspondeu ao carbono acima do solo, 17,72% refere-se ao carbono presente abaixo do solo e 0,35% ao carbono de árvores mortas. A parcela 20 foi a que apresentou maior estimativa de carbono (160,29 Mg.ha<sup>-1</sup>) e a parcela 27 o menor valor, 2,27 Mg.ha<sup>-1</sup> (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Estoque de carbono, acima e abaixo do solo, dos indivíduos arbóreos presentes na Fazenda Bulcão, em Mg.ha<sup>-1</sup>

Parcela	Carbono presente na biomassa viva acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono presente na biomassa viva abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono árvore morta (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono total (Mg.ha <sup>-1</sup> )
1	62,12	14,93	0,41	77,45
2	50,86	10,50	0,00	61,37
3	21,04	4,24	0,04	25,32
4	36,04	7,21	0,02	43,27
5	65,98	15,93	0,94	82,85
6	15,13	3,09	0,00	18,22
7	47,49	9,66	0,08	57,22
8	55,40	11,18	0,00	66,58
9	28,42	5,78	0,48	34,68
10	13,86	2,85	0,04	16,76
11	63,91	15,41	0,06	79,38
12	42,30	8,46	0,00	50,76
13	21,68	4,34	0,12	26,14

Continua...

Tabela 1.1, Cont

Parcela	Carbono presente na biomassa viva acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono presente na biomassa viva abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono árvore morta (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono total (Mg.ha <sup>-1</sup> )
14	26,91	5,38	0,09	32,38
15	28,07	5,63	0,23	33,93
16	18,55	3,75	0,22	22,51
17	17,60	3,99	0,19	21,78
18	26,63	5,33	0,07	32,03
19	43,58	8,72	0,00	52,29
20	129,22	31,06	0,00	160,29
21	16,36	3,27	0,04	19,67
22	18,01	3,60	0,24	21,84
23	22,90	4,58	0,09	27,57
24	15,18	3,08	0,40	18,66
25	72,39	17,60	0,00	89,99
26	97,01	23,42	0,00	120,43
27	1,83	0,44	0,00	2,27
28	3,57	0,71	0,04	4,32
29	19,62	3,98	0,00	23,60
30	34,50	6,97	0,06	41,53
31	7,37	1,80	0,00	9,17
32	70,96	17,03	0,00	87,99
33	18,37	3,67	0,03	22,07
34	24,57	4,93	0,00	29,50
35	42,91	8,70	0,60	52,20
36	24,58	4,92	0,29	29,78
37	20,81	4,50	0,00	25,31
38	24,22	4,84	0,23	29,30
39	35,01	7,00	0,00	42,01
40	16,77	3,35	0,00	20,12
41	4,01	0,86	0,00	4,87
42	29,06	5,81	0,00	34,87
43	31,20	6,85	0,06	38,11
44	45,49	9,34	0,03	54,86
45	35,83	7,27	0,06	43,17
46	8,74	1,78	0,06	10,58
47	40,04	8,01	0,04	48,09
48	25,44	5,20	0,00	30,64
49	22,13	4,46	0,55	27,13

Continua...

Tabela 1.2, Cont

<b>Parcela</b>	<b>Carbono presente na biomassa viva acima do solo (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono presente na biomassa viva abaixo do solo (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono árvore morta (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbono total (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>
50	47,58	9,52	0,00	57,10
51	16,68	3,43	0,00	20,11
52	6,60	1,39	0,02	8,01
53	20,37	4,07	0,65	25,09
54	10,01	2,23	0,03	12,27
55	2,17	0,48	0,04	2,68
56	46,68	9,34	0,86	56,88
57	64,08	15,38	0,00	79,46
58	31,00	6,20	0,43	37,63
59	9,99	2,24	0,03	12,26
60	24,49	4,90	0,00	29,39
61	5,21	1,07	0,00	6,28
62	26,61	5,35	0,00	31,96
63	31,02	6,40	0,02	37,44
64	58,89	14,16	0,46	73,51
65	18,96	4,44	0,16	23,56
66	36,48	7,42	0,00	43,89
67	21,92	4,45	0,14	26,51
68	28,15	5,63	0,30	34,07
69	120,56	29,07	0,00	149,63
70	43,26	8,65	0,00	51,91
71	23,50	4,70	0,06	28,26
72	16,53	3,33	0,00	19,86
73	16,38	3,35	0,17	19,90
74	3,55	1,60	0,00	5,16
75	20,65	4,13	0,00	24,78
76	23,28	4,90	1,27	29,45
77	15,49	3,11	0,11	18,70
78	29,47	5,89	0,00	35,37
79	34,22	6,94	0,00	41,16
80	18,70	3,76	0,76	23,22
81	18,62	3,72	0,47	22,81
82	57,80	11,62	0,00	69,42
83	57,23	11,65	0,04	68,92
84	10,65	2,22	0,38	13,25
85	5,43	1,09	0,05	6,56

Continua...



Tabela 1.2, Cont

Parcela	Carbono presente na biomassa viva acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono presente na biomassa viva abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono árvore morta (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Carbono total (Mg.ha <sup>-1</sup> )
86	74,46	17,87	0,00	92,33
87	77,10	18,73	0,39	96,22
88	58,97	11,90	0,10	70,97
<b>Média</b>	<b>32,69</b>	<b>7,07</b>	<b>0,14</b>	<b>39,90</b>
<b>Carbono (%)</b>	<b>81,93</b>	<b>17,72</b>	<b>0,35</b>	<b>100,00</b>

Ferreira (2009) avaliando reflorestamento com espécies nativas nas margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Volta Grande entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, com idade entre 4 e 17 anos, obteve estoque de carbono igual a 38,70 Mg.ha<sup>-1</sup>. Em plantio de restauração com idade de 8 e 23 anos em Rio Claro-SP, o estoque de carbono foi de 34,43 Mg.ha<sup>-1</sup> e 50,52 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (PREISKORN, 2011).

Lacerda (2009) também analisando áreas de restauração florestal em São Paulo encontraram 25,95 MgC.ha<sup>-1</sup> aos 7 anos. Valor semelhante à média de estoque de carbono encontrada nas parcelas com 7 anos de idade neste estudo, 24,92 Mg.ha<sup>-1</sup>.

Já Faria (2013) obteve estoques de carbono entre 33,52 e 47,43 MgC.ha<sup>-1</sup>, aos 19 anos, em áreas em processo de restauração com diferentes níveis de perturbação nos municípios de Camargos e Itutinga, MG.

O estoque de carbono da biomassa viva acima do solo, aos doze anos, variou entre 37,5 e 52 Mg.ha<sup>-1</sup> em estudo desenvolvido por Nogueira Junior (2010) em áreas de restauração da Mata Atlântica, Botucatu (SP).

Deste modo, observa-se a estimativa de carbono total estimada neste estudo foi próxima à encontrada em outros trabalhos de reflorestamento com espécies nativas sob mesma faixa de idade, conforme apresentado nos Apêndices A e B.

Entretanto, é importante frisar que fatores bióticos como, por exemplo, radiação solar, pluviosidade, características do sítio; silviculturais e relacionados ao manejo florestal adotado possuem influência direta na incorporação de biomassa e, conseqüente carbono florestal estocado.

Ferez (2010), por exemplo, obteve valores de estocagem de carbono para a parte aérea entre 10,4 Mg.ha<sup>-1</sup> para o tratamento silvicultural menos intensivo e 23,7 Mg.ha<sup>-1</sup> para o tratamento intensivo (manejo sem mato-competição e sem limitação nutricional) em áreas de restauração na Mata Atlântica, aos 6 anos.

Com relação as espécies arbóreas avaliadas, *Myracroduon urundeuva* (aroeira) foi a espécie florestal com maior número de indivíduos (636), no entanto, as árvores de *Plathymenia foliolosa* (vinhático) e *Paratecoma peroba* (peroba) apresentaram maior média de carbono estocado (712,39 KgC.indivíduo<sup>-1</sup> e 709,45 KgC.indivíduo<sup>-1</sup>, respectivamente). Isto porque os indivíduos arbóreos destas espécies já se encontravam presentes no local, ou seja, são árvores remanescentes, o que também pode ser justificado pelo alto valor médio de DAP (Figura 1.4).

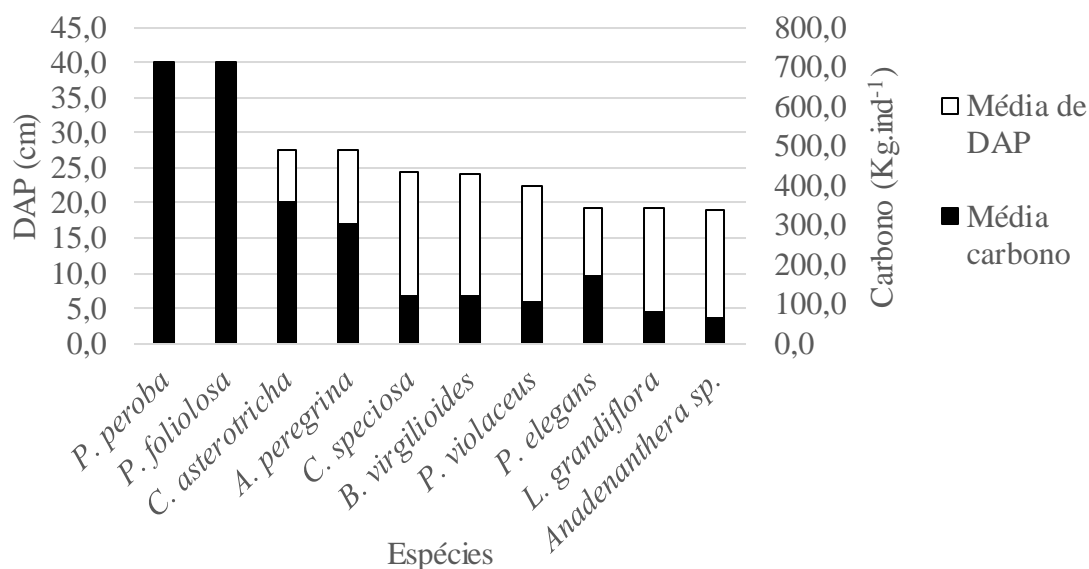


Figura 1.4 – Estoque de carbono e DAP das dez principais espécies arbóreas localizadas na Fazenda Bulcão, Aimorés, MG.

Verifica-se, portanto, que algumas espécies arbóreas têm maior potencial de estocagem de carbono comparado às demais, em especial indivíduos de espécies não pioneiras que, além de representarem 46,68% do carbono total estocado, possuem, em geral, maior longevidade e, conseqüentemente, prevalecem por mais tempo em projetos florestais (Tabela 1.2).

Entretanto, as espécies florestais pioneiras têm papel fundamental no processo de sucessão florestal e na fixação de dióxido de carbono atmosférico. Desta maneira, em projetos de carbono florestal deve-se atentar para modelos que levem em consideração além de fatores como preparo adequado da área de plantio e escolha correta de mudas, arranjos que privilegiem o uso de diferentes grupos ecológicos e, principalmente, a manutenção destas áreas por meio de planos de manejo florestal.

Tabela 1.2 – Estoque médio de carbono por indivíduo para cada espécie arbórea na Fazenda Bulcão, Aimorés, MG

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Plathymenia foliolosa</i> Benth.	Fabaceae - Mimosoideae	Vinhático	P	3	712,39
<i>Paratecoma peroba</i> (Record) Kuhlmann	Bignoniaceae	Peroba	NP	9	709,45
<i>Couratari asterotracha</i> Prance	Lecythidaceae	Embirana	NP	4	360,28
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Fabaceae - Mimosoideae	Angico vermelho	P	20	301,8
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Fabaceae - Caesalpinioideae	Jacarandá canzil	NP	50	167,68
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae - Papilionoideae	Sucupira preta	P	4	119,16
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Bombacaceae	Paineira	NP	30	118,39
<i>Pterocarpus violaceus</i> Vogel	Fabaceae - Papilionoideae	Pau sangue	NP	4	104,55
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	Fabaceae - Papilionoideae	Macanaíba pele de sapo	NP	2	81,6
<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	Tiliaceae	Açoita cavalo	P	9	81,06
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nichols.	Bignoniaceae	Ipê amarelo	NP	10	69,59
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Fabaceae - Mimosoideae	Leucena	P	2	67,94
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Fabaceae - Caesalpinioideae	Aleluia, canafístula	P	70	67,6
<i>Anadenanthera</i> sp.	Fabaceae - Mimosoideae	Angico prego	P	4	63,4
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Fabaceae - Caesalpinioideae	Guapuruvú	P	11	59,24
<i>Gallesia gorazema</i> (Vell.) Moq.	Phytolaccaceae	Pau de alho	P	2	57,59
<i>Acacia mangium</i> Willd.	Fabaceae - Mimosoideae	Acácia	P	26	57,55
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae - Mimosoideae	Orelha de negro	P	4	56,38
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Amendoim	NP	21	56,13
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	Fabaceae - Papilionoideae	Feijão verde	P	5	53,44

Continua...

Tabela 1.2, Cont

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Melanoxylon brauna</i> Schott	Fabaceae - Caesalpinioideae	Braúna	NP	10	50,19
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Cecropiaceae	Embaúba	P	18	50,1
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	Aroeira	NP	636	49,75
<i>Spondias</i> sp.	Anacardiaceae	Cajazão	-	3	49,08
<i>Bougainvillea praecox</i> Griseb.	Nyctaginaceae	Maria pobre	NP	41	48,87
<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Fedegoso	P	31	48,55
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Jacarandá caviúna	NP	30	46,02
<i>Albizia polycephala</i> (Benth.) Killip ex Record	Fabaceae - Mimosoideae	Angico branco	P	150	43,68
<i>Joannesia princeps</i> Vell.	Euphorbiaceae	Boloteira, cutieira	P	29	42,3
<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	Fabaceae - Papilionoideae	Sete-cascas	NP	11	41,98
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau ex Verl.	Bignoniaceae	Ipê preto	P	28	39,67
<i>Dalbergia</i> sp.	Fabaceae - Papilionoideae	Jacarandá	-	26	38,25
<i>Manilkara salzmannii</i> (A.DC.) H.J.Lam	Sapotaceae	Parajú	P	4	38,24
<i>Parapiptadenia pterosperma</i> (Benth.) Brenan	Fabaceae - Mimosoideae	Angico roxo	P	14	38,16
<i>Trichilia</i> sp.	Meliaceae	Trichilia	-	1	37,45
<i>Musa</i> sp.	Musaceae	Bananeira	-	6	36,96
<i>Cnidoscolus pubescens</i> Pohl.	Euphorbiaceae	Árvore do diabo	P	16	36,39
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Angico canjiquinha	NP	159	36,23
<i>Andira anthelmia</i> (Vell.) J.F. Macbr.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Angelim margoso	P	1	35,48
<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Fabaceae - Papilionoideae	Guaribu preto	NP	11	34,42
<i>Spondias venulosa</i> (Engl.) Engl.	Anacardiaceae	Cajá	NP	6	32,21

Continua...

Tabela 1.2, Cont

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Garapa	NP	3	32,17
<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.	Fabaceae - Papilionoideae	Óleo branco	P	17	31,66
<i>Vitex montevidensis</i> Cham.	Lamiaceae	Tarumã	NP	3	30,11
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Lecythidaceae	Castanheira	P	2	29,37
<i>Machaerium fulvovenosum</i> H.C.Lima	Fabaceae - Papilionoideae	Jacarandá cipó	P	15	28,23
<i>Indeterminada 3</i>	Indeterminada 3	Indeterminada 3	-	1	26,55
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sargent.	Ulmaceae	Mata homem	P	8	26,2
<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Boraginaceae	Cascudeira	P	148	26,19
<i>Pterigota brasiliensis</i> (Fr. All.) K. Schum.	Sterculiaceae	Farinha seca	P	8	25,92
<i>Acosmium cardenasii</i> H.S.Irwin & Arroyo	Fabaceae - Papilionoideae	Sucupira	NP	12	25,41
<i>Sebastiania</i> sp.	Euphorbiaceae	Vareteiro	-	41	25,12
<i>Tabebuia</i> sp.	Bignoniaceae	Ipê cocoeira	-	28	24,88
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Moraceae	Tajuba	P	70	24,49
<i>Platymiscium pubescens</i> Micheli	Fabaceae - Papilionoideae	Jacarandá branco	NP	2	24,23
<i>Pseudopiptadenia contorta</i> (DC.) G.P.Lewis & M.P.Lima	Fabaceae - Mimosoideae	Angico	P	9	23,51
<i>Alchornea</i> sp.	Euphorbiaceae	Caxeta	-	6	23,35
<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Guaribu preto	P	6	23,14
<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vell.) Toledo	Bignoniaceae	Ipê roxo	NP	26	22,94
<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae	Louro	-	18	22,85
<i>indeterminada 2</i>	Indeterminada 2	Indeterminada 2	-	7	22,73
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Moraceae	Milho torrado	P	19	22,35
<i>Caesalpinia ferrea</i> Mart. ex Tul.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Pau ferro	NP	7	22,22

Continua...

Tabela 1.2, Cont

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Chorisia glaziovii</i> (Kuntze) E. Santos	Malvaceae	Paineira barriguda	NP	2	21,11
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Bignoniaceae	Ipê branco	NP	7	20,52
<i>Cordia trichoclada</i>	Boraginaceae	Douradinha	P	73	20,5
<i>Spondias dulcis</i>	Anacardiaceae	Cajá manga	NP	2	19,67
<i>Pouteria venosa</i>	Sapotaceae	Bapeba	NP	3	19,54
<i>Machaerium nycitans</i> (Vell.) Benth.	Fabaceae - Papilionoideae	Bico de pato	P	21	19,38
<i>Indeterminada 1</i>	Indeterminada 1	Indeterminada 1	-	2	18,08
<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk.	Sapindaceae	Pitomba	NP	2	17,52
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Anacardiaceae	Gibatão	NP	15	17,12
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Fabaceae - Mimosoideae	Pau jacaré	P	8	16,85
<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae	Pitanga do mato	NP	2	16,7
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Lecythidaceae	Sapucaíú	NP	5	16,33
<i>Centrolobium cf. tomentosum</i> Guill. ex Benth.	Fabaceae - Papilionoideae	Araribá	P	3	15,61
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Meliaceae	Cedro	P	6	14,51
<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Bignoniaceae	Ipê macuco, ipê mulato	NP	4	14,3
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	Fabaceae - Caesalpinioideae	Jatobá vermelho	NP	1	14,13
<i>Celtis brasiliensis</i> (Gardner) Planch.	Ulmaceae	Grão de galo	P	21	14,11
<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Mata pau	-	32	13,74
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Óleo vermelho	NP	2	13,44
<i>Guazuma crinita</i> Mart.	Malvaceae	Mutamba	P	3	13,37
<i>Toulicia laevigata</i> Radlk.	Sapindaceae	Pau-barata	NP	27	13,23
<i>Acosmium lentiscifolium</i> Schott	Fabaceae - Papilionoideae	Guaribu rajado	NP	5	13,12
<i>Acacia polyphylla</i> DC.	Fabaceae - Mimosoideae	Angico de espinho	P	2	12,99

Continua...

Tabela 1.2, Cont

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Ficus guaranítica</i> Chodat & Vischer	Moraceae	Figueira brava	P	1	12,93
<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	Mal me quer	-	7	12,03
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam. ) Mart.	Annonaceae	Pindaíba	NP	12	11,95
<i>Pouteria</i> sp.	Sapotaceae	Pão com manteiga	-	46	11,42
<i>Aloysia virgata</i> (Ruiz & Pav.) Juss.	Verbenaceae	Lixa viola	P	2	10,94
<i>Inga</i> sp.	Fabaceae -Mimosoideae	Ingá	-	1	10,86
<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.	Fabaceae - Papilionoideae	Sucupira amarela	NP	1	10,73
<i>Caesalpinia echinata</i> Lam.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Pau brasil	NP	1	10,52
<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae - Mimosoideae	Ingá branco	NP	2	10,49
<i>Trema micranta</i> (L.) Blume	Cannabaceae	Gurindiba	P	1	10,3
<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Apocynaceae	Esperta	P	2	10,28
<i>Ceiba erianthos</i> (Cav.) K.Schum.	Malvaceae	Paineira de espinho	NP	2	10,2
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	Connaraceae	Angico cabelo	NP	13	9,4
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	Myrtaceae	Jambo	-	6	9,16
<i>Ficus gomelleira</i> Kunth.	Moraceae	Figueira	P	4	9,16
<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	Canela	P	3	8,87
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Flacourtiaceae	Cafezinho do mato	P	29	8,19
<i>Anacardium occidentale</i> L.	Anacardiaceae	Caju roxo	NP	2	8,04
<i>Cupania</i> sp.	Sapindaceae	Camboatá	-	5	7,68
<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy	Nyctaginaceae	Lustrosa	P	5	7,48
<i>Palicourea tetraphylla</i> Cham. & Schltld.	Rubiaceae	Maria preta	P	1	7,17
<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.	Euphorbiaceae	Leiteira, espeta	P	3	7
<i>Ramisia brasiliensis</i> Oliv.	Nyctaginaceae	Ganassaia	NP	1	6,56
<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	Solanaceae	Lobeira	P	12	6,5

Continua...



Tabela 1.2, Cont

Nome científico	Família	Nome vulgar	GE	NI	Carbono médio (kg.indivíduo <sup>-1</sup> )
<i>Carpotroche brasiliensis</i> (Raddi) A Gray	Flacourtiaceae	Sapucainha	P	1	6,29
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Sapindaceae	Saboneteira	NP	3	6,26
<i>Alseis floribunda</i> Schott	Rubiaceae	Pelada	P	50	5,68
<i>Anona</i> sp.	Anonaceae	Anona	-	1	5,33
<i>Genipa infundibuliformis</i> Zappi & Semir	Rubiaceae	Genipapo amarelo	P	1	4,85
<i>Paullinia meliifolia</i> Juss.	Sapindaceae	Guaraná	P	3	4,8
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Fabaceae - Mimosoideae	Sansão-do-campo	P	47	3,92
<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Genipapo	P	3	3,84
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	Murici	P	1	3
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Arecaceae	Palmito juçara	P	1	2,56
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Anacardiaceae	Aroeira pimenta	P	3	2
<i>Croton</i> sp.	Euphorbiaceae	Croton sp	-	8	1,98
<i>Seguiera langsdorffii</i> Moq.	Phytolaccaceae	Limãozinho, laranjinha	P	3	1,34
<i>Inga edulis</i> Mart.	Fabaceae - Mimosoideae	Ingá lombriga	P	11	1,23
<i>Cenostigma macrophyllum</i> Tul.	Fabaceae - Caesalpinioideae	Canela de velha	NP	32	0,96
<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	Apocynaceae	Guatambú	NP	3	0,91
<i>Physalis angulata</i> L.	Solanaceae	Saco de bode	NP	2	0,59
<i>Plumeria</i> sp.	Apocynaceae	Agoniada	-	1	0,45
<i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth	Fabaceae - Papilionoideae	Ingá do urucu	P	3	0,39

NI = Número de indivíduos

GE = Grupo Ecológico (P – pioneiras/secundárias iniciais; NP – Não Pioneira/secundárias tardias/clímax)

### 3.2.Incremento de carbono

A estimativa do incremento médio anual de carbono foi feita baseada nos dados de reflorestamento que possuíam registros da idade de plantio (Equação 1.6).

No entanto, como a área de estudo é formada também por regeneração natural e indivíduos remanescentes, contrastou-se a idade dos plantios com a distribuição diamétrica e estocagem de carbono dos indivíduos. Desta maneira, excluiu-se os indivíduos com DAP acima de 30 cm e indivíduos de *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), que segundo registros, já se encontravam na área.

O IMA geral de carbono foi de  $3,17 \pm 1,06 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  levando em consideração plantios com idade entre 3 e 13 anos. Os valores variaram entre  $5,53 \text{ MgC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na parcela 34, aos 4 anos e  $0,97 \text{ MgC.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na parcela 84, aos 8 anos. A variação entre os valores ocorreu devido à grande diferença existente na estocagem de carbono entre os plantios e no número de indivíduos presentes em cada parcela. Além disso, em geral, cada árvore apresentou incremento médio anual de  $2,37 \pm 0,90 \text{ KgC.ind}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 – Incremento Médio Anual (IMA) de biomassa e de carbono por parcela do estudo na Fazenda Bulcão Aimorés, MG

<b>Parcela</b>	<b>Ano de plantio</b>	<b>NI (ind.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA (MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA (KgC.ind.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>
1	2000	1100	3,19	2,90
2	2003	1278	1,15	0,90
3	2009	1000	2,73	2,73
4	2005	655	2,62	4,00
5	2000	1111	2,50	2,25
6	2005	1000	3,59	3,59
7	2004	895	2,98	3,33
8	2001	1161	1,30	1,12
9	2008	1490	3,01	2,02
10	2008	1000	2,92	2,92
11	2000	1505	3,19	2,12
12	2000	1250	3,00	2,40
13	2004	1062	3,43	3,23
14	2004	1349	1,12	0,83
15	2004	1337	3,49	2,61
16	2008	1061	3,63	3,42
17	2008	1406	3,67	2,61
18	2002	1302	1,51	1,16
19	2005	1446	1,75	1,21
20	2000	1987	3,10	1,56
21	2004	966	2,27	2,35
22	2005	1000	2,06	2,06
23	2005	1100	3,20	2,91
24	2006	913	2,21	2,42
25	2000	1831	1,08	0,59
26	2000	1473	1,65	1,12
27	2005	1004	2,26	2,25
28	2008	1000	3,90	3,90
29	2005	1195	1,47	1,23
30	2000	2000	2,18	1,09
31	2004	2148	2,75	1,28
32	2000	1000	4,86	4,86
33	2009	998	4,10	4,11
34	2009	1585	5,53	3,49

Continua...

Tabela 1.3, Cont

<b>Parcela</b>	<b>Ano de plantio</b>	<b>NI (ind.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA (MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>IMA (KgC.ind.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>
35	2005	1281	2,96	2,31
36	2005	1179	3,42	2,90
37	2005	1652	1,90	1,15
38	2008	1095	4,25	3,88
39	2003	1000	2,36	2,36
40	2005	1115	2,71	2,43
41	2004	1738	3,18	1,83
42	2005	1045	3,98	3,81
43	2004	2310	4,25	1,84
44	2004	1971	2,72	1,38
45	2003	1294	4,75	3,67
46	2005	1000	1,90	1,90
47	2006	1277	3,73	2,92
48	2008	1078	4,81	4,46
49	2004	1031	2,64	2,56
50	2000	1000	1,67	1,67
51	2004	1059	2,34	2,21
52	2006	2104	4,06	1,93
53	2009	1333	5,33	4,00
54	2007	1084	3,47	3,20
55	2010	1182	3,96	3,35
56	2005	1313	3,40	2,59
57	2000	1597	3,96	2,48
58	2000	2218	4,17	1,88
59	2009	1038	3,87	3,73
60	2004	1552	3,85	2,48
61	2008	1103	4,17	3,78
62	2008	1844	1,18	0,64
63	2002	1699	2,26	1,33
64	2002	1401	2,27	1,62
65	2004	1727	1,14	0,66
66	2002	1432	3,58	2,50
67	2002	1601	3,41	2,13
68	2000	1571	3,08	1,96
69	2000	2736	3,53	1,29
70	2000	2813	1,80	0,64
71	2002	722	1,04	1,44

Continua...

Tabela 1.3, Cont

Parcela	Ano de plantio	NI (ind.ha <sup>-1</sup> )	IMA (MgC.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	IMA (KgC.ind. <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
72	2008	524	1,93	3,68
73	2000	1057	2,22	2,10
74	2008	2058	1,77	0,86
75	2008	371	1,09	2,94
76	2004	671	1,63	2,43
77	2005	1914	3,58	1,87
78	2004	522	2,40	4,60
79	2004	947	2,88	3,04
80	2004	1087	3,26	3,00
81	2008	904	4,52	5,00
82	2000	1755	2,72	1,55
83	2001	1219	2,89	2,37
84	2005	672	0,97	0,58
85	2004	1986	2,84	1,43
86	2000	873	1,86	2,13
87	2000	1910	2,54	1,33
88	2003	1545	3,43	2,22
<b>Média</b>		<b>1339</b>	<b>3,17</b>	<b>2,37</b>
<b>Desvio padrão</b>		<b>±342,62</b>	<b>±1,06</b>	<b>±0,90</b>

NI – número de indivíduos IMA – Incremento Médio Anual de carbono

As áreas de Floresta Estacional Semidecidual estudadas por Azevedo (2012) e Lacerda et al. (2009) em São Paulo apresentaram incremento médio anual de 3,13 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 3,71 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> aos 7 anos de idade, resultados próximos ao obtido nesta pesquisa para mesma idade, 3,34 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Ferez (2010) utilizando tratamentos silviculturais intensivos em áreas de restauração na Mata Atlântica obteve valor de incremento próximo: 3,43 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, porém em menor tempo, aos 6 anos de idade.

Já Nogueira Junior (2010) estimou em 3,20 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 2,28 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> o IMA de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual aos 13 anos de idade em Botucatu, SP.

Melo e Durigan (2006) encontraram valores médios superiores ao IMA geral deste estudo em reflorestamentos ciliares de Floresta Estacional Semidecidual em São Paulo, 5,2 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e IMA de carbono por indivíduo um pouco superior (2,88 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Já Stucchi (2013) encontrou valores de IMA inferiores aos dos demais estudos relacionados, variação entre 0,72 e 1,76 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Segundo o autor, isto se deve às perturbações existentes nas matas às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos.

Nota-se, pelos estudos apresentados acima, que os valores de IMA de carbono, em geral, foram próximos ao estimado neste estudo quando comparado à mesma faixa etária. Além disso, assim como discutido anteriormente com relação à estocagem de carbono, o manejo adotado tem forte influência nos valores a serem obtidos.

Levando em consideração as espécies florestais presentes na área de estudo, destacam-se com maior IMA de carbono: *S. multijuga* (7,79 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *C. pachystachya* (6,78 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *A. mangium* (6,65 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *L. muehlbergianus* (6,64 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *P. pterosperma* (6,44 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *T. serratifolia* (6,28 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *S. parahyba* (6,23 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *C. iguanaea* (5,96 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), *B. praecox* (5,87 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e *B. excelsa* (5,87 KgC.ind<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Figura 1.5).

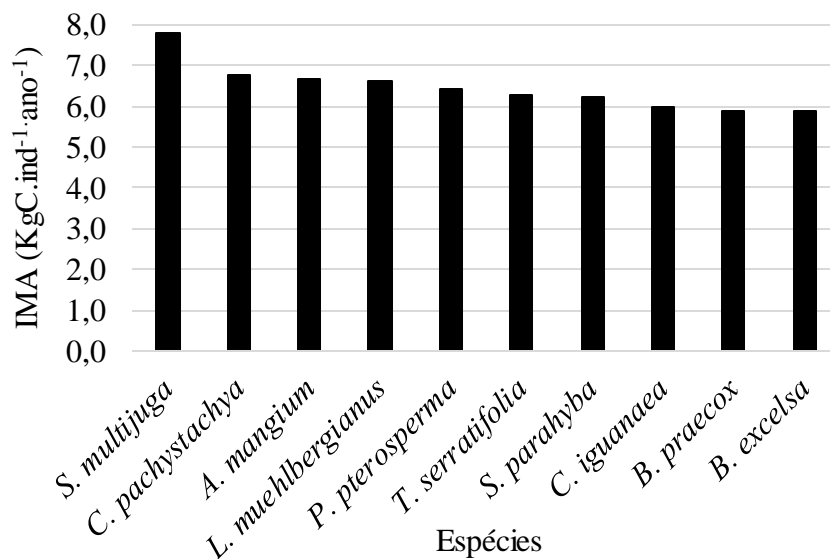


Figura 1.5 - Espécies arbóreas com maior Incremento Médio Anual (IMA) de carbono na Fazenda Bulcão em Aimorés, MG.

Desta maneira, observa-se que dentre as dez espécies com maior IMA de carbono destacam-se as espécies pioneiras. Brites et al. (2006) avaliando o IMA de carbono de indivíduos arbóreos da Mata Atlântica, sob diferentes idades, observaram maiores valores de IMA em espécies pioneiras, com destaque especial para *S. parahyba* e *A. colubrina*.

Destaca-se também a presença de espécies exóticas como, por exemplo, *A. mangium* e *C. iguanaea*, que possuem rápido crescimento, dentre as espécies arbóreas com maior IMA de carbono.

Além disso, as espécies florestais com IMA mais elevado diferiram das espécies com maior estoque de carbono (Figura 5.1). Isto porque, pelo montante de carbono estocado e idade dos plantios florestais das parcelas em que ocorreram espécies como, por exemplo, *Paratecoma peroba* (peroba) e *Plathymenia foliolosa* (vinhático), entende-se que estes indivíduos provavelmente já estavam presentes nas áreas antes do reflorestamento.

#### 4. CONCLUSÃO

Espécies pioneiras como *Senna multijuga* (canafístula) apresentam taxa de crescimento mais acelerado no início do desenvolvimento, demonstrando sua importância para a fixação de carbono, em especial no estágio inicial da floresta. No entanto, espécies florestais não pioneiras têm papel fundamental no processo de sucessão florestal e na concepção de projetos de carbono florestal.

Algumas espécies arbóreas possuem maior potencial de estocagem de carbono comparadas às demais. Assim, é importante que leve em consideração este potencial na escolha de espécies que irão compor reflorestamentos que tem como o objetivo principal a estocagem de carbono.

Os resultados obtidos colaboram com o aprimoramento de trabalhos relacionados à estocagem e incremento de carbono florestal, servindo como base para a elaboração de projetos de florestamento e reflorestamento visando à fixação de carbono, bem como iniciativas de neutralização de carbono com plantio de espécies arbóreas e cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais.

A recomposição vegetal da Fazenda Bulcão mostra-se, portanto, importante não apenas para a restauração das funções ecológicas, mas em especial, para captura e estoque de carbono, o que pode contribuir para a redução dos GEE na atmosfera e, conseqüentemente, mitigar as alterações climáticas.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. STAPE, J. L. SENTELHAS, P. C. GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARO, M. A. **Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa-MG**. 2010. 168p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2010.

APG - Angiosperm Phylogeny Group III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Bot. J. Linn. Soc.**141:399-436.

AZEVEDO, A. D. **Composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do Rio Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu. RJ**. 2012. 162p (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, UFRRJ, Seropédica.

BASTOS, S. C. **Aplicação de indicadores de avaliação e monitoramento em um projeto de restauração florestal. Reserva do Patrimônio Natural - RPPN Fazenda Bulcão, Aimorés, MG**. 2010, 131p (Mestrado em Botânica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. Vale do Rio Doce. Minas Gerais**. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

BRITZ, R. M.; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 165p.

BUFO, L. V. B. **Restauração florestal e estoque de carbono em modelos de implantação de mudas sob diferentes combinações de espécies e espaçamentos**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, 2008.

- FARIA, R. A. V. B. **Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração.** 2013, 167p. (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- FEREZ, A. P. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre as taxas iniciais de sequestro de carbono em plantios de restauração da Mata Atlântica.** 2010, 104p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.
- FERREIRA, W. C. **Estoque de biomassa e carbono e parâmetros e indicadores de recuperação de mata ciliar.** 2009, 163p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica.** Disponível em: < <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2015a.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades: Aimorés. MG.** Disponível em: < <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2015b.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 270p.
- IPCC - International Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006, v.4.
- LACERDA, J. S. C.; H. T. Z.; HIROTA. M. M.; PASISHNYK. N.; POLIZEL. J. L. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVM**, v. 5, p.1-23, 2009.
- MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema. SP. Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.71, p.149-154, 2006.
- MIRANDA, D. L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista.** 2008, 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MOBOT - Missouri Botanical Garden (2011). Plant Science Database– W3 TRÓPICOS. Disponível em: <<http://www.mobot.org>>. Acesso em 20 de jan. 2015.
- MOKANY, K.; RAISON, R. J.; PROKUSHKIN, A. S. 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, v.11, p.1–13.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; da FONSECA, G. A. B.; KENT. J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853-858, 2000.
- NOGUEIRA JUNIOR, L. R. **Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica.** 2010. 94p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, SP.
- PAULA, A. T. **Depoimento sobre a devastação em Aimorés.** Aimorés, 1998, 3p.

PEARSON, T. S.; WALKER, S.; BROWN. 2005. **Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects**. BioCarbon Fund & Winrock International. Arlington. VA. USA

PREISKORN, G. M. **Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes**. 2011. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). ESALQ/USP, Piracicaba

SCATENA, F.N.; SILVER, W.; SICCAM, T.; JOHNSON, A.; SÁNCHEZ, M.J. 1993. Biomass and nutrient content of the Bisley Experimental Watersheds, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico, before and after Hurricane Hugo. **Biotropica**, v. 25, n. 1, p.15-27. 1993.

SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JUNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa**. 2008. 216f. Disponível em: <<http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/publicacoes/equacoes/capitulo09.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2014.

STUCCHI, G. B. **Estimativa dos estoques de carbono na parte aérea de reflorestamentos de espécies nativas e remanescentes florestais**. 2013. 78 (Mestrado em Ciências). Departamento de Engenharia Florestal, ESALQ/USP, Piracicaba

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M. P. M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J. L. F.; CAMPOS, M. C. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C. A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; DE MATTOS, E. A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F. A. M.; SHIMABUKURO, M. T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**. São Paulo, v.8, n.2, 2008, 21-29p.

WAYCARBON. **Carbon stock assessment report**. Instituto Terra. Minas Gerais. Brazil. 2013. 28p.

## **CAPÍTULO 2**

### **BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM MONOCULTIVO DE EUCALIPTO EM LAMIM, MG**

#### **1. INTRODUÇÃO**

As florestas plantadas, além do fim econômico e comercial proporcionado por seus produtos madeireiros e não madeireiros, capturam e fixam carbono na madeira e nos demais componentes das árvores (SCHUMACHER et al., 2001).

Plantios de eucalipto, por exemplo, constituem efetiva fonte de remoção de carbono que podem imobilizar pelo menos  $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  atmosférico (GATTO et al., 2010), devido às elevadas taxas de crescimento destes plantios ao longo do período de rotação.

As estimativas de carbono variam de acordo com a região e fatores como condições edafoclimáticas, características genéticas das espécies e o manejo adotado (SANTANA et al., 2002; SANTANA et al., 2008).

O espaçamento de plantio é outro fator que altera a alocação de biomassa e carbono das plantas de eucalipto, sendo objeto de estudo de muitas pesquisas como as desenvolvidas por Bernardo et al. (1998), Assis et al. (1999) e Rocha (2011). Isto porque o espaçamento de plantio pode alterar o crescimento das variáveis dendrométricas, em especial o volume e as propriedades físicas da madeira, como a densidade básica da madeira, fatores estes relacionados diretamente às estimativas de biomassa e, conseqüentemente, de carbono.

Oliveira Neto et al. (2003) relatam, por exemplo, que a produção de biomassa aérea, por árvore, em arranjos mais espaçados é elevada devido ao maior crescimento em diâmetro das árvores, enquanto em espaçamentos mais reduzidos ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um número elevado de indivíduos.

Por outro lado, se houver um número muito expressivo de árvores por hectare, a quantidade de recursos disponíveis no local para cada indivíduo arbóreo como radiação solar, água e nutrientes, pode não ser suficiente para garantir o bom desenvolvimento do diâmetro das árvores (SCOLFORO, 1997; SCHNEIDER et al., 1998), interferindo na quantidade de biomassa presente no povoamento.

O uso de fertilizantes minerais é também elemento fundamental no sucesso do plantio florestal em áreas de baixa fertilidade natural do solo (GAVA et al., 1997, GOMES et al., 2003; CIAVATTA et al., 2014). No entanto, é uma das principais fontes emissoras de Gases de Efeito Estufa (GEE) na área rural, representando 43% das emissões diretas nacionais de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (MCT, 2010).

Diante de um cenário de preocupação com relação às alterações climáticas, em especial vinculado à atividade agropecuária, principal fonte emissora brasileira, torna-se importante comparar as emissões de GEE oriundas do plantio e a estocagem de carbono pelos reflorestamentos com eucalipto.

Deste modo, objetivou-se com este estudo estimar o balanço de carbono em monocultivos de eucalipto sob diferentes espaçamentos em Lamim, MG.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural localizada na cidade de Lamim, Zona da Mata de Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas 20° 47' 24" S e 43° 28' 26" O. A região é composta por relevo montanhoso (72%), ondulado (21%) e plano (7%), com encostas convexo-côncavas embutidas em vales de fundo chato, formados por terraços e leitos maiores, onde se localizam cursos d'água (COELHO et al., 2008).

O solo local é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, pobre em bases trocáveis e de baixa fertilidade natural conforme análise de solo feita na área de estudo.

O clima da região é do tipo Cwb, temperado úmido com inverno seco e verão temperado, segundo o sistema de Köppen. A temperatura média anual é de 19,3°C, altitude média de 779m e a precipitação média anual de 1.300 mm (ALVARES et al., 2013).

O local do estudo foi inicialmente idealizado para ser uma unidade demonstrativa da prática do manejo florestal em eucalipto para a produção de madeira para carvão. Assim, a área de pesquisa foi dividida em quatro blocos de 0,25 ha com espaçamentos específicos (2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m) de *E.urophylla* x *E.grandis*.

Para avaliar também a estocagem de biomassa e carbono nos plantios de eucalipto, aos 18 e 32 meses, nos dois espaçamentos mais adensados foram lançadas quatro parcelas e nos outros dois, devido à restrição de área, três parcelas, conforme Tabela 2.1. A área das parcelas variou em função do espaçamento e do número fixo de árvores, 24.

Tabela 2.1 – Área de cada parcela e número de plantas por espaçamento de eucalipto em propriedade rural em Lamim, MG

<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Número de parcelas</b>	<b>Área da Parcela (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Número de plantas por bloco (0,25 ha)</b>
2x1	4	48	1.200
2x2	4	96	600
3x2	3	144	450
3x3	3	216	300

## **2.2. Inventário florestal**

Após a realização de inventário florestal em que mensurou-se o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, a 1,30 m do solo) e a altura de todos os indivíduos arbóreos, foram selecionadas 48 árvores-amostra (12 para cada espaçamento) para obtenção do volume total com casca.

O volume total com casca foi determinado pela aplicação sucessiva da expressão de Smalian (HUSCH et al., 1993), nas seguintes alturas: 0; 0,3; 0,7; 1,3 m e a partir deste a cada 1 metro, até um diâmetro limite de 6,5 cm, diâmetro mínimo do pentaprisma de Wheeler, conforme trabalhos similares (FISCHER et al., 2001; SANQUETTA et al., 2003 e CANALEZ et al., 2006). Os comprimentos das seções foram obtidos com o auxílio de vara graduada.

## **2.3. Determinação da densidade básica da madeira**

A densidade básica da madeira do fuste foi obtida com o auxílio de um trado mecânico introduzido na altura do DAP de cada árvore amostra. Posteriormente, as amostras foram condicionadas em tubos de PVC e levadas ao laboratório para determinação da densidade, conforme NBR 11.941 (ABNT, 2003) (Equação 2.1).

$$Db = \frac{m_3}{m_2 - m_1} \quad [2.1]$$

em que:

$D_b$  = Densidade básica da madeira, em  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

$m_3$  = massa da amostra seca em estufa a  $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ , em g;

$m_2$  = massa do recipiente com água e amostra imersa, em g;

$m_1$  = massa do recipiente com água, em g.

\* O volume do disco equivale ao volume de água deslocada (diferença de massa ( $m_2 - m_1$ )), considerando a densidade da água como um grama por centímetro cúbico ( $\text{g.cm}^{-3}$ ).

#### 2.4. Estimativa de biomassa e carbono

A biomassa do fuste foi obtida pela multiplicação do volume e a densidade básica da madeira, conforme Equação 2.2 (FINKE HERRERA, 1989).

$$B = V * d \quad [2.2]$$

em que:

$B$  = biomassa do fuste com casca em kg;

$d$  = densidade básica média da madeira e da casca do fuste, em  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

$V$  = volume do fuste com casca, em  $\text{m}^3$ .

O carbono estocado na biomassa foi estimado por meio da multiplicação dos valores de biomassa pelo fator 0,47 para espécies arbóreas, conforme recomendação do IPCC (2006).

De posse das estimativas de carbono do fuste das árvores-amostra elaborou-se equações alométricas baseadas nos modelos de Schumacher & Hall (1933) linearizado (Equação 2.3) e Spurr (1952) modificado (Equação 2.4).

$$\text{Ln}Y = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}DAP + \beta_2 * \text{Ln}Ht + \varepsilon \quad [2.3]$$

$$\text{Ln}Y = \beta_0 + \beta_1 * \text{Ln}(DAP^2 * Ht) + \varepsilon \quad [2.4]$$



em que:

Ln = logaritmo neperiano;

Y = carbono do fuste (madeira e casca), em kg;

$\beta_i$  = parâmetros do modelo, para  $i = 1, 2$  e  $3$ ; e

$\varepsilon$  = erro aleatório

Optou-se pela forma linearizada pela facilidade de ajuste através do método dos mínimos quadrados ordinários. Além disso, o uso de equações linearizadas podem corrigir eventuais problemas de heterocedasticidade de variância e de normalidade dos erros (SOARES e OLIVEIRA, 2002).

A precisão das equações referentes aos modelos descritos anteriormente foi avaliada baseada no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no erro-padrão da estimativa ( $S_{y.x}$ ) e pela análise gráfica dos resíduos percentuais.

A biomassa abaixo do solo composta por raízes e solo são importantes sumidouros de carbono. No entanto, devido às incertezas e aos questionamentos existentes sobre metodologias para estimar carbono presente no solo e também nas raízes, adotou-se uma abordagem conservadora e não considerou estes componentes no cálculo da biomassa total.

### **2.5. Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA) de carbono**

O Incremento Corrente Anual (ICA) de carbono, que corresponde ao ganho de carbono ocorrido em um ano e o Incremento Médio Anual (IMA) de carbono, que também foram calculados de acordo com as Equações 2.5 e 2.6.

$$ICA = E_{i+1} - E_i \quad [2.5]$$

$$IMA = \frac{E_i}{i} \quad [2.6]$$

em que:

IMA = Incremento Médio Anual, em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ;

$E_i$  = Estoque de carbono no tempo  $i$ ; e

$i$  = período de tempo (ano)

## 2.6. Balanço de carbono

Levou-se em consideração as emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso provenientes da adubação de plantio e cobertura, bem como da calagem (calcário dolomítico). Como não houve uso de equipamentos mecânicos para preparo do solo, o plantio foi manual e sem uso de herbicidas, não houve outras fontes de emissão.

Com base nos dados de adubação e calagem fornecidos pelo proprietário (Tabela 2.2) e nas diretrizes do 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e MCTI (2010), estimou-se as emissões de GEE oriundas do plantio do eucalipto.

Tabela 2.2 - Adubação de plantio e cobertura realizada na área do estudo, Lamim, MG

<b>Tipo de adubação</b>	<b>g/cova</b>	<b>Forma de Aplicação</b>
Fosfato natural reativo	200	No fundo da cova
Superfosfato simples	150	Covetas laterais 10 dias após o plantio
NPK (20-00-20), 0,5% de B e Zn	150	40 a 60 dias após o plantio
Cloreto de potássio + 1% B	150	Duas estações chuvosas após o plantio

As emissões totais de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), pelo uso de fertilizantes, foram calculadas pelo somatório das emissões diretas e emissões indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$  (Equação 2.7).

As emissões diretas são provenientes da adição de esterco animal em pastagens, uso de fertilizantes sintéticos, cultivo de plantas fixadoras de nitrogênio, pela incorporação no solo de resíduos de colheita e pela mineralização de nitrogênio associada ao cultivo de solos orgânicos (Equação 2.8). Já as emissões indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$  referem-se à porção de nitrogênio incorporado no solo que é volatilizada na forma de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$  e também perdida por lixiviação (Equações 2.9 e 2.10) (IPCC, 2006).

$$E_{N_2O} = E_{N_2O_d} + E_{N_2O_i} \quad [2.7]$$

$$E_{N_2O_d} = Q_f * FE_{N_2O_d} * F_{N-N_2O} \quad [2.8]$$

$$E_{N_2O_v} = (Q_f * Frac_{gas}) * FE_{N_v} * F_{N-N_2O} \quad [2.9]$$

$$E_{N_2O_l} = (Q_f * Frac_{lixiv.}) * FE_{N_l} * F_{N-N_2O} \quad [2.10]$$

em que:

$E_{N_2O}$  = emissão de N<sub>2</sub>O, em toneladas por hectare;

$E_{N_2O_d}$  = emissão de N<sub>2</sub>O direta, em toneladas por hectare;

$E_{N_2O_i}$  = emissão de N<sub>2</sub>O indireta, em toneladas por hectare;

$Q_f$  = quantidade de fertilizante utilizada, em toneladas por hectare;

$Frac_{gas}$  = fração de N volatilizada na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, em toneladas por hectare. Foi adotado o default do IPCC (10%);

$Frac_{lixiv.}$  = fração de N lixiviado, em toneladas por hectare. Foi adotado o default do IPCC (30%);

$FE_{N_2O_d}$  = fator de emissão de N<sub>2</sub>O para emissão direta. Foi adotado o default do IPCC (1%);

$FE_{N_v}$  = fator de emissão de N volatilizado. Foi adotado o default do IPCC (1%);

$FE_{N_l}$  = fator de emissão de N lixiviado. Foi adotado o default do IPCC (0,75%);

$F_{N-N_2O}$  = fator de conversão N-N<sub>2</sub>O. Massa específica do N<sub>2</sub>O sobre a massa específica do N<sub>2</sub> (44/28).

As emissões de CO<sub>2</sub> pela calagem foram calculadas de acordo com Equação 2.11:

$$E_{CO_{2e}} = Q_A \cdot FE_{Calagem} \cdot \frac{44}{12} \quad [2.11]$$

em que:

$E_{CO_{2e}}$  = emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas por hectare por ano;

$Q_A$  = quantidade de calcário, em toneladas por hectare;

$FE_{Calagem}$  = fator de emissão para a calagem. Segundo o IPCC (2006), 12 % para CaCO<sub>3</sub> e 13 % para CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Posteriormente, utilizou-se os valores de estocagem de carbono obtidos para cálculo do balanço de carbono, conforme Equação 2.12.

$$B_{GEE} = C_{CO2e} - \sum E_{CO2e} \quad [2.12]$$

$$C_{CO2} = C_t * \left(\frac{44}{12}\right) \quad [2.13]$$

$$E_{CO2e} = E_{GEEi} * PAG_i \quad [2.14]$$

em que:

$B_{GEE}$  = Balanço de remoções e emissões de gases de efeito estufa, em tCO<sub>2e</sub>;

$C_{CO2e}$  = Estoque total de carbono, em tCO<sub>2e</sub>;

$E_{CO2e}$  = Somatório das emissões de gases de efeito estufa, em tCO<sub>2e</sub>;

$C_t$  = Estoque de carbono total, em t.ha<sup>-1</sup>;

$E_{GEEi}$  = Emissão do GEE i, em t;

$PAG_i$  = Potencial de Aquecimento Global do GEE i;

i = CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características gerais

O diâmetro quadrático dos indivíduos arbóreos, aos 18 meses, variou entre 4,39 e 5,10 cm. Já aos 32 meses, os valores estiveram entre 7,90 e 11,35 cm. Como esperado, os valores foram superiores nos espaçamentos mais amplos, onde há maior disponibilidade de recursos de crescimento devido a menor competição pelas plantas (REINER et al., 2011). A altura média das árvores aos 18 meses foi de 5,95 m e, aos 32 meses, 14,53 m, com variação de 144% (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Diâmetro quadrático (q) e altura total média ( $\bar{Ht}$ ) das árvores em cada espaçamento e idade em Lamim, MG

Idade (meses)	Espaçamento (m)	q (cm)	$\bar{Ht}$ (m)
18	2x1	4,78	7,13
	2x2	4,39	5,38
	3x2	5,10	6,08
	3x3	4,80	5,22
	<b>Média</b>	<b>4,77</b>	<b>5,95</b>
	<b>Desvio-padrão</b>	<b>±0,29</b>	<b>±0,87</b>
32	2x1	7,90	12,49
	2x2	9,38	15,16
	3x2	10,61	15,37
	3x3	11,35	15,09
	<b>Média</b>	<b>9,81</b>	<b>14,53</b>
	<b>Desvio-padrão</b>	<b>±1,51</b>	<b>±1,36</b>

### 3.2. Seleção de equação

O modelo de Schumacher & Hall (1933) foi o que se ajustou melhor para estimar o carbono do fuste, dentre os modelos avaliados (Tabela 2.4). Além disso, todos os coeficientes foram estatisticamente significativos, considerando  $p < 0,05$ , pelo teste “t”, de Student.

Tabela 2.4 – Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações para estimar carbono do fuste das árvores em Lamim, MG

Modelos	Coeficientes			R <sup>2</sup> ajust. (%)	S <sub>y.x</sub> (%)
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$		
Schumacher e Hall (1933)	-3,99806	1,80166	0,75588	88,38	29,46
Spurr (1952) modificado	-3,06017	2,27350	-	87,21	30,91

Observa-se que o modelo de Schumacher & Hall (1977) apresentou maior similaridade entre os valores de carbono estimado e carbono observado comparado à equação gerada pelo modelo de Spurr (1952) modificado, em especial para menores diâmetros, o que pode ser evidenciado pelo cálculo do *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) (Figura 2.1).

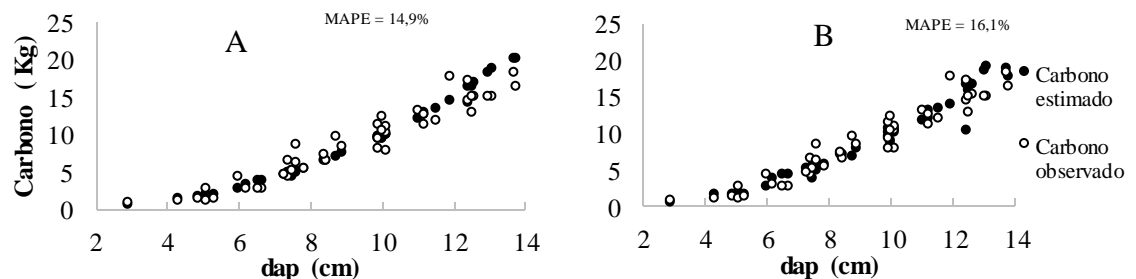


Figura 2.1 – Gráficos de dispersão das quantidades de carbono estimado e observado nos fustes com casca em função dos diâmetros (dap) para Schumacher & Hall (1977) (A) e Spurr (1952) modificado (B).

O modelo de Schumacher e Hall (1933) também apresentou melhor distribuição dos resíduos em relação ao modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 2.2).

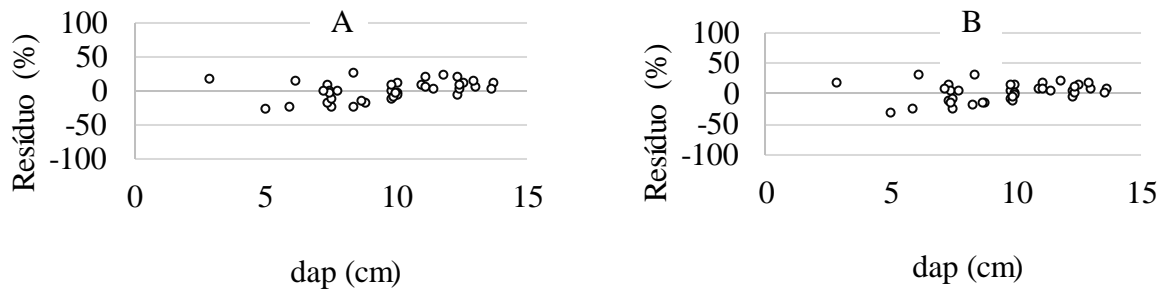


Figura 2.2 – Gráficos dos resíduos percentuais da equação de Schumacher & Hall (1977) (A) e Spurr (1952) modificado (B), para carbono do fuste.

### 3.3. Estoque de carbono

Aos 18 meses, o plantio mais adensado (2x1 m), por apresentar maior número de indivíduos por hectare, apresentou maior estoque de carbono no fuste ( $10,51 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) enquanto o espaçamento mais amplo (3x3 m) obteve estoque igual a  $2,53 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Já aos 32 meses, assim como observado aos 18 meses, os valores de carbono variaram entre  $12,72 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , no espaçamento 3x3 m, e  $24,78 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  no plantio mais adensado.

Nota-se, portanto, que houve um ganho na estocagem de carbono entre as medições, correspondendo a um Incremento Corrente Anual (ICA) de carbono de 12,20; 15,02; 9,26 e  $10,90 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  para os espaçamentos 2x1, 2x2, 3x2 e 3x3 m, respectivamente.

Por outro lado, quando comparado o carbono presente por indivíduo, observou-se, em geral, maior estoque de carbono nos maiores espaçamentos. A produção de biomassa aérea, por árvore, é superior em maiores espaçamentos devido ao maior crescimento em diâmetro, no entanto, em espaçamentos menores ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, em razão de se ter um número elevado de indivíduos (OLIVEIRA NETO et al., 2003) (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Estoque de carbono em plantio de *E.urophylla* x *E.grandis* aos 18 e 32 meses e Incremento Corrente Anual (ICA) de carbono em Lamim, MG

Área	Espaçamento (m)	Carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )		Carbono (kg.arv <sup>-1</sup> )		ICA (Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
		18 meses	32 meses	18 meses	32 meses	
1	2 x 1	10,51	24,78	2,30	5,43	12,20
2	2 x 2	4,54	22,06	1,87	9,08	15,02
3	3 x 2	4,38	15,18	2,94	10,20	9,26
4	3 x 3	2,53	12,72	2,32	11,66	10,90
<b>Média</b>		<b>5,49</b>	<b>18,68</b>	<b>2,36</b>	<b>9,09</b>	<b>11,84</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±3,00</b>	<b>±4,91</b>	<b>±0,38</b>	<b>±2,30</b>	<b>±2,11</b>

### 3.4.Incremento Médio Anual de Carbono

Os valores de Incremento Médio Anual (IMA) de carbono, assim como a estocagem de carbono, diminuiram de acordo com o aumento da área útil por planta, variando entre 1,68 e 4,71 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para espaçamento 3 x 3 m, aos 18 e 32 meses, respectivamente, e 7,0 e 9,18 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o espaçamento 2 x 1 m, aos 18 e 32 meses de idade, nesta ordem (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 – Incremento Médio Anual (IMA) de carbono, em Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em plantio de *E.urophylla* x *E.grandis* aos 18 e 32 meses em Lamim, MG

Área	Espaçamento (m)	IMA carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	
		18 meses	32 meses
1	2 x 1	7,00	9,18
2	2 x 2	3,02	8,17
3	3 x 2	2,92	5,62
4	3 x 3	1,68	4,71
<b>Média</b>		<b>3,70</b>	<b>6,92</b>
<b>Desvio-padrão</b>		<b>±1,99</b>	<b>±1,82</b>



Verifica-se que, aos 18 meses, o IMA de carbono no espaçamento mais adensado (2 x 1 m) é muito superior aos espaçamentos mais abertos. Já aos 32 meses, o IMA do espaçamento 2 x 2 m se aproximou ao 2 x 1 m. Isto indica que em idades mais jovens o IMA é maior em espaçamento mais adensados. Na idade mais avançada, há tendência dos espaçamentos mais abertos se igualarem ou passarem os espaçamentos mais adensados, em função da maior competição entre os indivíduos. Assim, levando em consideração que é recomendável que projetos de carbono sejam de longo prazo, os espaçamentos mais abertos seriam mais interessantes.

Gatto (2005) avaliando plantios de *Eucalyptus* spp. sob espaçamento 3 x 2 m na cidade de Virgíópolis, MG obteve estoque de carbono no fuste e IMA de carbono semelhante ao estimado neste estudo, 14,97 Mg.ha<sup>-1</sup> e 6,13 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente, porém em maior idade, aos 36 meses.

O estoque de carbono no fuste estimado por Wink et al. (2013) em áreas com *Eucalyptus* spp. aos 21 meses de idade, também sob espaçamento 3 x 2 m, no Rio Grande do Sul, foi de 4,92 Mg.ha<sup>-1</sup> e IMA de 2,89 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, resultados parecidos ao estimado neste estudo para mesmo espaçamento aos 18 meses.

Deste modo, observa-se que os plantios de *Eucalyptus* spp. com espaçamento 3 x 2 m em Lamim apresentaram melhor desenvolvimento se comparado com os estudos de Gatto (2005) e Wink et al. (2013).

Schumacher et al. (2011) conduzindo estudos de carbono com *Eucalyptus* spp. sob espaçamento 1,5 x 1,5 m, no Rio Grande do Sul, obtiveram estoque de carbono igual a 10,96 MgC.ha<sup>-1</sup> e IMA de 6,13 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, aos 24 meses. Valores próximos ao encontrado nos plantios de Lamim sob mesma área útil (2 m<sup>2</sup> - espaçamento 2 x 1 m).

Por outro lado, Britez et al. (2006) estimaram o estoque de carbono acima do solo em 15,96 Mg.ha<sup>-1</sup> e incremento médio anual de 7,98 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para indivíduos de *Eucalyptus* spp. em espaçamento 3 x 2 m, no entanto em menor tempo, aos 24 meses. Aos 36 meses, os mesmos autores obtiveram estoque de carbono acima do solo bem superior, 19,42 Mg.ha<sup>-1</sup>, e incremento médio anual de 9,25 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Nota-se, portanto, que há variação nos valores de estocagem de carbono entre os diferentes estudos, de acordo com a idade e outros fatores como características do sítio e manejo adotado (Apêndice C). Desta maneira, torna-se importante a análise comparativa entre a estocagem e o incremento médio

anual de carbono pelos plantios de eucalipto, a fim de gerar dados suficientes para o desenvolvimento do sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais.

### 3.5. Balanço de carbono

As emissões de GEE foram diretamente proporcionais à quantidade de adubo aplicado por planta. Assim, a Área 1 que possui maior número de indivíduos (1.200) apresentou emissão superior às demais áreas (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 – Emissão de N<sub>2</sub>O e CO<sub>2e</sub> da adubação por espaçamento de plantio de *E.urophylla* x *E.grandis* em Lamim, MG

Área	Espaçamento (m)	Dosagem total N (kg.ha <sup>-1</sup> )	Emissão (kgN <sub>2</sub> O.ha <sup>-1</sup> )	Emissão calagem (kgCO <sub>2e</sub> .ha <sup>-1</sup> )	Emissão (kgCO <sub>2e</sub> .ha <sup>-1</sup> )
1	2 x 1	714,29	2,97	238,32	1.124,72
2	2 x 2	357,14	1,49	238,32	681,51
3	3 x 2	267,86	1,12	238,32	570,72
4	3 x 3	178,57	0,74	238,32	459,92
<b>Média</b>		<b>379,46</b>	<b>1,58</b>	<b>238,32</b>	<b>709,22</b>

Se adicionado 0,95 MgCO<sub>2e</sub>.ha<sup>-1</sup> oriundas do uso de calcário dolomítico, obtêm-se uma emissão total para as quatro áreas de 2,83 MgCO<sub>2e</sub>.ha<sup>-1</sup>. O fato das atividades de plantio e manutenção serem realizadas manualmente, sem uso de equipamentos ou maquinários agrícolas contribuiu para que a emissão de GEE fosse menor.

Observa-se que as emissões de CO<sub>2e</sub> oriundas da adubação nitrogenada e calagem foram muito baixas comparadas ao estoque de carbono de cada área de plantio. Como nos plantios mais adensados o estoque de carbono é maior, o balanço de carbono também nestas áreas foi superior aos demais. Aos 18 meses de idade, os plantios de eucalipto já neutralizavam as emissões de GEE (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 – Balanço de carbono, em  $\text{MgCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1}$ , para cada área de plantio em Lamim, MG

Espaçamento (m)	Estoque ( $\text{MgCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1}$ )		Emissão ( $\text{MgCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	Balanço ( $\text{MgCO}_{2e} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	
	18 meses	32 meses		18 meses	32 meses
	2 x 1	38,54		90,87	1,12
2 x 2	16,65	80,87	0,68	+15,97	+80,19
3 x 2	16,06	55,66	0,57	+15,49	+55,09
3 x 3	9,28	46,64	0,46	+8,82	+46,18
<b>Média</b>	<b>20,13</b>	<b>68,51</b>	<b>0,71</b>	<b>+19,43</b>	<b>+67,80</b>
<b>Desvio-padrão</b>	<b>±11,01</b>	<b>±18,00</b>	<b>±0,25</b>	<b>+10,77</b>	<b>±17,78</b>

Ressalta-se que é importante destacar que o balanço de carbono é dependente das técnicas de plantio e de manejo florestal adotadas e fatores climáticos. Assim, se houvesse o uso de máquinas e implementos para preparo do solo e também capina química a emissão de GEE nos plantios de eucalipto seria mais elevada, alterando o balanço de carbono.

Além disso, o solo atua como fonte ou dreno de GEE, sendo que a magnitude das emissões de GEE geradas dependem do tipo, uso e sistemas de cultivo adotados. Solos mais argilosos tendem a possuir uma menor difusão e taxa de oxidação do  $\text{CH}_4$  mais reduzida que solos de textura arenosa, reduzindo a taxa de absorção de  $\text{CH}_4$ .

Ademais, solos encharcados ou sujeitos a maiores níveis de umidade podem criar sítios de anaerobiose dentro de seus agregados, propiciando maiores emissões de  $\text{CH}_4$  a partir da ação de micro-organismos metanogênicos específicos. Desta forma, o manejo do solo também é um fator importante no balanço de carbono em sistemas florestais.

Em média, são necessários 27 indivíduos de eucalipto aos 32 meses para compensar as emissões de GEE do local de plantio. A área mais adensada (2 x 1 m), como apresenta menor estoque de carbono por indivíduo e gera maior emissão de GEE, necessita de um número superior de árvores para neutralizar as emissões oriundas da adubação e calagem (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 – Árvores necessárias para compensar as emissões de GEE oriundas dos plantios de eucalipto aos 32 meses em Lamim, MG

<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Emissão (MgCO<sub>2e</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Estoque de carbono (KgCO<sub>2e</sub>.árv<sup>-1</sup>)</b>	<b>Árvores por ha*</b>	<b>Árvores necessárias para compensação</b>	<b>Árvores excedentes</b>
2x1	1,12	19,91	4.564	57	4.507
2x2	0,68	30,13	2.428	23	2.405
3x2	0,57	37,41	1.488	15	1.473
3x3	0,46	41,64	1.090	11	1.079
<b>Média</b>	<b>0,71</b>	<b>32,27</b>	<b>2.314</b>	<b>27</b>	<b>2.366</b>

\* Contabilizadas as falhas de plantio.

#### 4. CONCLUSÃO

O estoque de carbono do fuste e o Incremento Médio Anual (IMA) de carbono, aos 18 e 32 meses, são superiores em plantios com menor espaçamento. Todavia, o estoque de carbono por indivíduo eleva-se de acordo com o aumento da área útil por planta.

À medida que a idade avança, há tendência do IMA de carbono em espaçamentos mais abertos ser superior ao dos espaçamentos mais adensados, em função da maior competição entre os indivíduos. Deste modo, levando em consideração que é recomendável que projetos de carbono sejam desenvolvidos no longo prazo, os espaçamentos mais abertos são mais interessantes.

Com relação ao balanço de carbono, em todos os espaçamentos avaliados o balanço é positivo. Ademais, aos 18 meses de idade, os plantios de eucalipto já apresentam estoque bem maior do que o necessário para neutralizar as emissões de GEE. Entretanto, destaca-se que o balanço de carbono é dependente de fatores como características do solo e manejo florestal adotado. Assim, o balanço de carbono é específico para cada sistema florestal adotado. Portanto, recomenda-se mais estudos de balanço de carbono em propriedades rurais em diferentes locais do Brasil.

Por fim, destaca-se a colaboração do plantio florestal na atenuação das mudanças do clima e para o desenvolvimento de um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. 2003. 6 p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; 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.
- BARBOSA, J.O.; GARRIDO, L.M.A.G. Consorciação de pastagens e povoamentos de Pinus. **Revista do Instituto Florestal**, 2: 171-184. 1990.
- BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 104, n. 1-3, p.1-13, 1998.
- BRITEZ, R. M.; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamento de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 165p.
- CANALEZ, G. G.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica da estrutura da comunidade de lauráceas no período 1995-2004 em uma floresta de araucária no sul do estado do Paraná, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.4, p.357-367, 2006.
- CIAVATTA, S. F.; SILVA, M. R.; SIMÕES, D. Fertirrigação na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* nos períodos de inverno e verão. **Cerne**, v.20, n.2, 2014.
- COELHO, D.J.S.; SILVA, A.L.; SOARES, C.P.B.; OLIVEIRA, M.L.R.; FREITAS, J.V. Análise documental e de consistência técnica de planos de manejo florestal em áreas de formações florestais, no estado de Minas Gerais. **R. Árvore**, v.32, n.1, p.69-80, 2008.

FERNANDES, M.M. **Caracterização de Solos e Uso Atual Empregando Aerofotos Não-Convencionais nas Sub-Bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo, MG.** 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 1996.

FINKE HERREIRA, M. C. **Densidade básica e equações de peso de madeira seca de povoamentos de eucalipto de acordo com a idade, espécie e método de regeneração.** Viçosa: UFV, 1989. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 2001.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1069-1079, 2010.

GATTO, A. Estoque de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 2005. 73 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; SHIBATA, F. Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.497-504, 1997.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. G. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

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

IPCC - International Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006, v.4.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Capítulo 3 – Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa por Setor. 2010. p.155-256. Brasília. DF. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0215/215038.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215038.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do Estoque de Carbono em Floresta Plantada de Eucalipto e Avaliação Econômica de Diferentes Alternativas de Manejo**. 2004, 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2004.

REINER, D. A., SILVEIRA, E. R., SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. *Synergismus scyentifica UTFPR*, Pato Branco, v.6, n.1. 2011.

REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; VALENTE, O. F.; FERNANDES, H. A. C. Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: **SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL**. Rio de Janeiro, 1994. Anais...Rio de Janeiro: CVRD, 1994, p.155-195.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2011.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava/PR, v.5, n.1, p.101-112, 2003

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p. 447-457, 2002.

SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G., HOPPE, J. M., DRESCHER, R., SCHEEREN, L. W., MAINARDI, G. et al. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v.8, n.1, p.129-140, 1998.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz. RS. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v.21. n.1. p.17-22. 2011.



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

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **J. Agr. Res.**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras. FAPE. Lavras, 1997, 433p.

SILVA, R. F. **Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto**. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2007.

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

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press Company, 1952. 476 p.

WINK, C.; REINERT, D. J.; MÜLLER, I.; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. A idade das plantações de *Eucalyptus sp.* influenciando os estoques de carbono. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.23, n.2, p.333-343, 2013.

## **CAPÍTULO 3**

### **BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS SILVIPASTORIS LOCALIZADOS EM PORTO FIRME, MG**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A Zona da Mata mineira possui muitas áreas degradadas devido ao histórico processo de remoção da cobertura florestal, principalmente para dar lugar as lavouras de café. Além disso, a região apresenta relevo declivoso, solos profundos de baixa fertilidade natural e susceptíveis à processos erosivos (ARAUJO, 2012), tornando, muitas vezes, entraves para a produção agrícola e desenvolvimento econômico (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Entretanto, a região apresenta potencial para a implantação de Sistemas Agroflorestais (SAFs) principalmente relacionando árvores com culturas perenes tradicionais como o café (CARDOSO et al., 2001; SOUZA, 2006, FERNANDES et al., 2007).

Os SAFs, por constituírem sistemas de consórcio entre cultivos agrícolas, árvores e/ou o componente animal, colaboram para maior diversificação da produção e otimização da produção por unidade de área (VALE, 2004; SALGADO et al., 2006; BALBINO et al., 2011).

Além da geração de renda, os SAFs podem auxiliar na recuperação de áreas degradadas e propiciam vários serviços ambientais relacionados à provisão de bens (madeira, sementes, frutos), suporte (melhoria da qualidade do solo) e regulação, como fixação de carbono na biomassa vegetal e do solo (LUIZÃO et al., 2006; PAULA et al., 2009; ALVARENGA et al., 2012; SILVA, 2013).

Há diferentes modelos de SAFs que podem ser de três tipos básicos: sistemas agropastoris (culturas agrícolas, pastagens e/ou animais), sistemas silvipastoris (árvores, pastagens e/ou animais) e sistemas agrossilvipastoris (árvores, culturas agrícolas, pastagens e/ou animais) (OLIVEIRA et al., 2005; FERNANDES et al., 2006).

A escolha do modelo, arranjo e do manejo dos SAFs interfere não apenas na otimização do sistema levando em consideração os produtos e subprodutos (MACEDO et al., 2006; PRASAD et al., 2010; OLIVEIRA NETO et al., 2010), mas também a incorporação de carbono pelos componentes do sistema (BOLFE et al., 2011).

De acordo com Ibrahim et al. (2010) as taxas de fixação de carbono em sistemas silvipastoris variam entre 1,0 e 5,0 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> dependendo também das condições de clima, solo, idade e espécies arbóreas presentes no sistema.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos a fim de estimar o estoque de carbono em sistemas silvipastoris (OLIVEIRA, 2008; MÜLLER et al., 2009, GUARIENTI, 2012), no entanto, ainda são escassas informações sobre incremento médio anual de carbono e também balanço de carbono nestes sistemas (MORA, 2001, TORRES, 2015).

Deste modo, objetivou-se com este estudo estimar o balanço de carbono existente em diferentes sistemas silvipastoris com clones de *E.urophylla* x *E.grandis* na Zona da Mata mineira.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em duas propriedades rurais no município de Porto Firme, MG. A cidade localiza-se na Zona da Mata de Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas 20° 38' 54" S e 43° 5' 18" O.

O clima da região é do tipo Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, segundo o sistema de Köppen. A temperatura média anual é de 19,7°C, altitude média de 669 m e a precipitação média anual de 1.212 mm (ALVARES et al., 2013). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Cambissolo Distrófico (FERNANDES, 1996).

A cobertura florestal da região insere-se no domínio da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual) e Porto Firme destaca-se como um dos municípios com maior cobertura florestal da microrregião de Viçosa (32,83%) (COELHO et al., 2005). No entanto, devido ao histórico de desmatamento e degradação, atualmente há predominância de pastagens, em sua maioria, mal manejadas.

Avaliou-se quatro sistemas silvipastoris implantados no ano de 2006, em uma mesma propriedade rural (Propriedade A) e dois sistemas silvipastoris estabelecidos em 2009 (S-1B) e em 2006 (S-2B) na Propriedade B. Todos compostos por diferentes clones de *E. urophylla* x *E. grandis* (eucalipto) e *Brachiaria decumbens* (braquiária), conforme Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Sistemas silvipastoris (SSP) presentes nas propriedades rurais A e B de Porto Firme, MG

Propriedade	SSP	Área (ha)	Eucalipto (clone)	Espaçamento (m)
A	S-1	1,70	A	6 x 4
A	S-2	0,85	B	6 x 4
A	S-3	1,13	C	6 x 4
A	S-4	3,10	A	8 x 4
B	S-1	3,60	A	6 x 4
B	S-2	3,10	B	8 x 4

## 2.2. Inventário florestal

Baseado no censo florestal realizado em que mensurou-se o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, a 1,30 m do solo) e a altura total de todas as árvores, realizou-se a caracterização diamétrica (com amplitude de 5 cm entre as classes de diâmetro) dos indivíduos do povoamento para definição do número de árvores-amostra e posterior cubagem rigorosa. Deste modo, selecionou-se 90 indivíduos, 15 para cada sistema silvipastoril.

O volume total com casca foi determinado pelo método não destrutivo, com aplicação sucessiva da expressão de Smalian (HUSCH et al., 1993), nas seguintes alturas: 0; 0,3; 0,7; 1,3 m e a partir deste a cada 1 metro, até um diâmetro limite de 6,5 cm, diâmetro mínimo do pentaprisma de Wheeler, conforme trabalhos similares (FISCHER et al., 2001; SANQUETTA et al., 2003 e CANALEZ et al., 2006). Os comprimentos das seções foram obtidos com o auxílio de uma vara graduada.

## 2.3. Determinação da densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira do fuste foi obtida com o auxílio de um trado mecânico introduzido na altura do DAP (Diâmetro à Altura do Peito, a 1,30 m do solo) de cada árvore-amostra. Posteriormente, as amostras foram condicionadas em tubos de PVC e

levadas ao laboratório para determinação da densidade básica, conforme NBR 11.941 (ABNT, 2003) (Equação 3.1).

$$Db = \frac{m_3}{m_2 - m_1} \quad [3.1]$$

em que:

Db= Densidade básica da madeira, em g.cm<sup>-3</sup>;

m<sub>1</sub>= massa do recipiente com água, em g.

m<sub>2</sub>= massa do recipiente com água e amostra imersa, em g;

m<sub>3</sub>= massa da amostra seca em estufa a (105 ± 2)°C, em g;

\* O volume do disco equivale ao volume de água deslocada (diferença de massa (m<sub>2</sub>-m<sub>1</sub>)), considerando a densidade da água como um grama por centímetro cubo (g.cm<sup>-3</sup>).

#### 2.4. Estimativa de biomassa e carbono

As estimativas de biomassa e carbono foram obtidas da mesma forma como descrito no Capítulo 2. Assim, de posse das estimativas de carbono do fuste das árvores-amostra também elaborou-se equações alométricas baseadas nos modelos de Schumacher & Hall (1933) e Spurr (1952) (Equação 3.3 e 3.4) e adotou-se os mesmos critérios para seleção dos melhores modelos de estimação de carbono

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht + \varepsilon \quad [3.3]$$

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP^2 * Ht) + \varepsilon \quad [3.4]$$

em que:

Ln = logaritmo neperiano;

Y = carbono do fuste (madeira e casca), em kg;

$\beta_i$  = parâmetros do modelo, para i = 1, 2 e 3; e

$\varepsilon$  = erro aleatório

## 2.5. Incremento Médio Anual (IMA) de carbono

O Incremento Médio Anual (IMA) de carbono foi calculado de acordo com as Equações 3.5.

$$IMA = \frac{E}{i} \quad [3.5]$$

em que:

IMA = Incremento Médio Anual, em  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ;

$E_i$  = Estoque de carbono no tempo  $i$ ; e

$i$  = período de tempo (ano)

## 2.6. Emissão de GEE

O cálculo das emissões de GEE nos sistemas silvipastoris levou em consideração dados de adubação e calagem fornecidos pelos produtores rurais e diretrizes contidas no 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e MCTI (2010).

Assim, as emissões da adubação nitrogenada e calagem foram estimadas de acordo com a Equação 3.6.

$$E_{N_2O} = E_{N_2O_d} + E_{N_2O_i} \quad [3.6]$$

$$E_{N_2O_d} = Q_f * FE_{N_2O_d} * F_{N-N_2O} \quad [3.7]$$

$$E_{N_2O_v} = (Q_f * Frac_{gas}) * FE_{N_v} * F_{N-N_2O} \quad [3.8]$$

$$E_{N_2O_i} = (Q_f * Frac_{lixiv.}) * FE_{N_l} * F_{N-N_2O} \quad [3.9]$$

em que:

$E_{N_2O}$  = emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ , em toneladas por hectare;

$E_{N_2O_d}$  = emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  direta, em toneladas por hectare;

$E_{N_2O_i}$  = emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  indireta, em toneladas por hectare;

$Q_f$  = quantidade de fertilizante utilizada, em toneladas por hectare;

$Frac_{gas}$  = fração de N volatilizada na forma de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$ , em toneladas por hectare. Foi adotado o default do IPCC (10%);

$Frac_{lixiv}$  = fração de N lixiviado, em toneladas por hectare. Foi adotado o default do IPCC (30%);

$FE_{N_2O_d}$  = fator de emissão de N<sub>2</sub>O para emissão direta. Foi adotado o default do IPCC (1%);

$FE_{N_v}$  = fator de emissão de N volatilizado. Foi adotado o default do IPCC (1%);

$FE_{N_l}$  = fator de emissão de N lixiviado. Foi adotado o default do IPCC (0,75%);

$F_{N-N_2O}$  = fator de conversão N-N<sub>2</sub>O. Massa específica do N<sub>2</sub>O sobre a massa específica do N<sub>2</sub> (44/28).

As emissões de CO<sub>2</sub> pela calagem foram calculadas de acordo com Equação 3.10:

$$E_{CO_{2e}} = Q_A \cdot FE_{Calagem} \cdot \frac{44}{12} \quad [3.10]$$

em que:

$E_{CO_{2e}}$  = emissão de dióxido de carbono equivalente, em toneladas por hectare por ano;

$Q_A$  = quantidade de calcário em toneladas por hectare;

$FE_{Calagem}$  = fator de emissão para a Calagem. Segundo o IPCC (2006), 12 % para CaCO<sub>3</sub> e 13 % para CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

As adubações realizadas para cada sistema silvipastoril estão descritas nas Tabelas 3.2 a 3.4. Além disso, em todos os sistemas aplicou-se 2,0 t.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.



Tabela 3.2 - Adubação realizada no sistema silvipastoril S-1A na propriedade A e S-2B na propriedade B em Porto Firme, MG

<b>Tipo de Adubação</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Dosagem (kg.planta<sup>-1</sup>)</b>
Plantio	Março	2006	NPK (06:30:06)	0,16
Manutenção	Novembro	2006	NPK (20:05:20)	0,10
Manutenção	Fevereiro	2007	NPK (20:05:20)	0,25
Manutenção	Dezembro	2007	NPK (20:05:20)	0,20
Manutenção	Dezembro	2008	KCl	0,10

Tabela 3.3 - Adubação realizada nos sistemas silvipastoris S-2, S-3 e S-4 na propriedade A em Porto Firme, MG

<b>Tipo de Adubação</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Dosagem (kg.planta<sup>-1</sup>)</b>
Plantio	Março	2006	NPK (06:30:06)	0,16
Manutenção	Abril	2006	NPK (20:05:20)	0,10
Manutenção	Outubro	2006	NPK (20:05:20)	0,25
Manutenção	Dezembro	2007	NPK (20:05:20)	0,20
Manutenção	Dezembro	2008	KCl	0,10

Tabela 3.4 - Adubação realizada no sistema silvipastoril S-1 na propriedade B em Porto Firme, MG

<b>Tipo de Adubação</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>Fertilizante</b>	<b>Dosagem (kg.planta<sup>-1</sup>)</b>
Plantio	Dezembro	2009	NPK (06:30:06)	0,16
Manutenção	Março	2010	NPK (20:05:20)	0,10

Para o componente animal do sistema, considerou-se a emissão de metano pela fermentação entérica do gado de corte. Segundo Esteves et al. (2010), o gado de corte a pasto em sistemas agroflorestais emite  $39 \text{ kgCH}_4.\text{animal}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Além disso, estimou-se a geração de  $\text{N}_2\text{O}$  pelos dejetos bovinos de acordo com a equação 6.3, pois a recuperação de N da urina ou das fezes animal por *Brachiaria* spp. é muito baixa, não influenciando de forma significativa a produção de biomassa tampouco o teor e acúmulo de nitrogênio acumulado na parte aérea do capim (LESSA, 2011; FERREIRA, 2002).

Adotou-se também para os cálculos  $1,0 \text{ unidade animal.ha}^{-1}$  como taxa de ocupação média bovina nas propriedades rurais da região da Zona da Mata mineira (MÜLLER et al., 2011; FIGUEIREDO et al., 2007).

## 2.7. Balanço de carbono

Com base nos valores de estocagem de carbono e a emissão de GEE estimou-se o balanço de carbono para cada sistema avaliado, conforme Equação 3.11.

$$B_{GEE} = C_{CO_2e} - \sum E_{CO_2e} \quad [3.11]$$

$$C_{CO_2} = C_t * \left(\frac{44}{12}\right) \quad [3.12]$$

$$E_{CO_2e} = E_{GEEi} * PAG_i \quad [3.13]$$

em que:

$B_{GEE}$  = Balanço de remoções e emissões de gases de efeito estufa, em  $\text{tCO}_2\text{e}$ ;

$C_{CO_2e}$  = Estoque total de carbono, em  $\text{tCO}_2\text{e}$ ;

$E_{CO_2e}$  = Somatório das emissões de gases de efeito estufa, em  $\text{tCO}_2\text{e}$ ;

$C_t$  = Estoque de carbono total, em  $\text{t.ha}^{-1}$ ;

$E_{GEEi}$  = Emissão do GEE i, em t;

$PAG_i$  = Potencial de Aquecimento Global do GEE i;

i =  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Seleção de equação

Dentre os modelos avaliados, o modelo de Schumacher & Hall (1933) foi o que apresentou melhor ajuste para estimar o carbono presente nos fustes dos clones de eucalipto. Todas as variáveis foram estatisticamente significativas a 95% de probabilidade para as equações ajustadas (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão das equações para estimar carbono do fuste em sistemas silvipastoris em Porto Firme, MG

Modelos	Coeficientes			R <sup>2</sup> ajust. (%)	S <sub>y.x</sub> (%)
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$		
Schumacher e Hall (1933)	-3,39979	2,18387	0,28270	98,65	11,75
Spurr (1952) modificado	-3,90125	0,86103	-	98,05	14,12

O modelo de Schumacher & Hall (1977) apresentou maior similaridade entre os valores de carbono estimado e carbono observado comparado à equação gerada pelo modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 3.1).

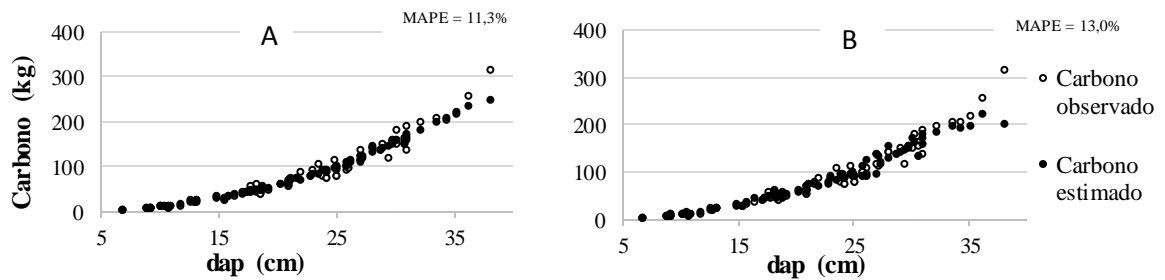


Figura 1.3 – Gráficos de dispersão das quantidades de carbono estimado e observado em função dos diâmetros (dap) para Schumacher & Hall (1977) (A) e Spurr (1952) modificado (B).

O modelo de Schumacher & Hall (1933) também apresentou melhor distribuição dos resíduos em relação ao modelo de Spurr (1952) modificado (Figura 3.2).

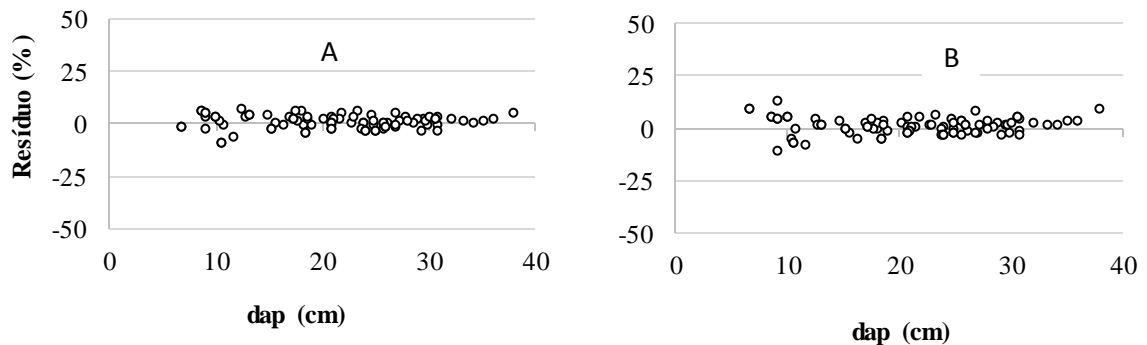


Figura 3.2 – Gráficos dos resíduos percentuais gerados pela equação de Schumacher & Hall (1977) (A) e Spurr (1952) modificado (B), para carbono total.

### 3.2. Estoque e incremento de carbono

Obteve-se, em média,  $37,09 \text{ MgC} \cdot \text{ha}^{-1}$  para os sistemas silvipastoris avaliados. O clone C, pertencente ao sistema S-3A, apresentou maior estoque de carbono na propriedade A, seguido dos clones B e A (Tabela 3.6). No entanto, a estimativa de carbono do clone A no sistema S-4A é 75,29% superior ao clone B do sistema S-2B sob mesmo espaçamento (8x4 m) e idade. Nota-se que a diferença existente entre os clones de eucalipto contribuiu para o resultado encontrado.

Tabela 3.6 - Estoque e Incremento Médio Anual (IMA) de carbono em sistemas silvipastoris em Porto Firme, MG

Área	Espaçamento (m)	Clone	Idade (anos)	Carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )	IMA (Mg.ha <sup>-1</sup> . ano <sup>-1</sup> )
S-1A	6 x 4	A	8	36,68 bc	4,59 b
S-2A	6 x 4	B	8	41,13 b	5,14 b
S-3A	6 x 4	C	8	51,72 a	6,46 a
S-4A	8 x 4	A	8	43,49 b	5,44 b
S-1B	6 x 4	A	5	24,68 c	4,94 b
S-2B	8 x 4	B	8	24,81 c	3,10 c
<b>Média</b>				<b>37,09</b>	<b>4,95</b>
<b>Desvio-padrão</b>				<b>±9,80</b>	<b>±1,01</b>

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Levando em consideração a época de plantio e de coleta de dados, estimou-se o IMA de carbono para os seis sistemas silvipastoris. O sistema S-3A, por apresentar maior estoque de carbono, também gerou os mais altos valores de IMA 6,46 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Em média, os sistemas silvipastoris apresentaram IMA de carbono de 4,95 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Tabela 3.6).

Villanova (2014) estimou o estoque de carbono em sistemas silvipastoris com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (espaçamento 8x3 m) e *Brachiaria decumbens* localizados na Zona da Mata mineira entre 36,03 Mg.ha<sup>-1</sup> e 37,64 Mg.ha<sup>-1</sup> aos 4,7 e 5,7 anos, respectivamente. O mesmo autor obteve IMA de 5,77 e 6,56 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, também nesta ordem.

Se comparado com o sistema S-1B, que possui idade e área por planta similar, nota-se que as estimativas de estocagem e IMA de carbono encontrados por Villanova (2014) foram superiores ao presente estudo, possivelmente devido aos tratamentos silviculturais realizados, em especial a maior quantidade de adubo aplicado e ao efeito residual dos fertilizantes aplicados em outras áreas agrícolas próximas.

Guarienti (2012) obteve estoque de carbono de 21,43 MgC.ha<sup>-1</sup> em sistema silvipastoril, aos 6 anos, composto por *Cynodon dactylon* e indivíduos arbóreos de *Eucalyptus dunnii* plantados sob espaçamento entre plantas de 2 m na linha e cerca de 50 m entre as linhas, em Nova Laranjeiras, PR. O IMA de carbono encontrado pelo autor igual a 3,57 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Müller et al. (2009) avaliando o estoque de carbono em sistema silvipastoril misto com *Eucalyptus grandis* (60 árv.ha<sup>-1</sup>) e *Acacia mangium* (45 árv.ha<sup>-1</sup>) implementado na Zona da Mata mineira, encontraram, aos 10 anos de idade, 11,17 Mg.ha<sup>-1</sup> para o eucalipto e 3,12 Mg.ha<sup>-1</sup> para acácia. O IMA de carbono para eucalipto foi igual a 1,11 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Os valores foram inferiores ao obtido neste estudo. No entanto, a densidade arbórea encontrada por Guarienti (2012), 134 árv.ha<sup>-1</sup>, e Müller et al. (2009) é menor ao avaliado no presente estudo.

Oliveira (2008) estimou em 3,40 e 3,82 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> o IMA de *E.grandis* em sistemas silvipastoris aos 21 anos com 500 e 1.000 árv.ha<sup>-1</sup>, respectivamente em Alegrete, RS. Já Lopes (2013) obteve IMA de carbono igual a 3,46 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para *E.urophylla* x *E.grandis* também em sistemas silvipastoris, com 2,5 anos, em outras propriedades rurais também localizadas em Porto Firme, MG.

Tsukamoto Filho (2004), por exemplo, estimou IMA igual a 6,45 MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e estoque de 38,7 MgC.ha<sup>-1</sup> para um sistema agrissilvipastoril com eucalipto (com idade de 6 anos e espaçamento 10x4 m), arroz, soja e braquiária no município de Paracatu, MG.

### **3.3.Balanco de carbono**

A emissão total do S-2A foi a maior dentre os sistemas avaliados (9,83 MgCO<sub>2e</sub>), pois o número de indivíduos de eucalipto presente neste sistema foi superior aos demais (455 plantas.ha<sup>-1</sup>). O gado de corte foi a principal fonte emissora de GEE em todos os sistemas silvipastoris da propriedade A representando, em média, 87,25% do total emitido,

enquanto a braquiária e eucalipto contribuíram, em média, com 9,68% e 3,07%, respectivamente.

O sistema S-2B gerou maior emissão total de GEE para a propriedade B, 9,76 tCO<sub>2e</sub>. A diferença entre os sistemas S-1B e S-2B foi devido a dosagem de adubação e período de plantio do eucalipto e entrada do componente animal no S-2B terem sido superiores ao S-1B.

Assim como na propriedade A, o gado foi a principal fonte emissora de GEE da propriedade B representando, em média, 89% do total emitido, enquanto a braquiária e eucalipto contribuíram, em média, com 10,67% e 1,76%, nesta ordem (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 - Emissão de CO<sub>2</sub>e, em Mg,ha<sup>-1</sup> para sistemas silvipastoris avaliados nas propriedades A e B considerando gado de corte em Porto Firme, MG

Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem (%)	
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total		
S-1A	Eucalipto	0,07	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	2,96
	Braquiária	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	9,72
	Gado de corte	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	8,54	87,32
<b>Total</b>		<b>1,02</b>	<b>0,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>9,78</b>	<b>100,00</b>
Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2</sub> e.ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem (%)	
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total		
S-2A	Eucalipto	0,09	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	3,46
	Braquiária	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	9,66
	Gado de corte	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	8,54	86,88
<b>Total</b>		<b>1,04</b>	<b>0,25</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>9,83</b>	<b>100,00</b>

Continua...



Tabela 3.7, Cont

Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2e</sub> .ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem (%)
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	
S-3A	Eucalipto	0,07	0,23	-	-	-	-	-	-	-	0,30	3,06
	Braquiária	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	9,70
	Gado de corte	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	8,54	87,24
<b>Total</b>		<b>1,02</b>	<b>0,23</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>9,79</b>	<b>100,00</b>
Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2e</sub> .ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem (%)
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	
S-4A	Eucalipto	0,06	0,20	-	-	-	-	-	-	-	0,26	2,67
	Braquiária	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	9,74
	Gado de corte	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	8,54	87,59
<b>Total</b>		<b>1,01</b>	<b>0,20</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>9,75</b>	<b>100,00</b>

Continua...

Tabela 3.7, Cont

Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2</sub> e. ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	(%)
S-1B	Eucalipto	-	-	-	0,02	0,05	-	-	-	-	0,07	<b>1,19</b>
	Braquiária	-	-	-	0,95	-	-	-	-	-	0,95	<b>16,10</b>
	Gado de corte	-	-	-	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	4,88	<b>82,71</b>
<b>Total</b>		-	-	-	<b>0,97</b>	<b>0,05</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>5,90</b>	<b>100,00</b>
Sistema	Componente	Emissão (MgCO <sub>2</sub> e. ha <sup>-1</sup> )										Porcentagem
		06	07	08	09	10	11	12	13	14	Total	(%)
S-2B	Eucalipto	0,07	0,20	-	-	-	-	-	-	-	0,27	<b>2,77</b>
	Braquiária	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	<b>9,73</b>
	Gado de corte	-	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	8,54	<b>87,50</b>
<b>Total</b>		<b>1,02</b>	<b>0,20</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>1,22</b>	<b>9,76</b>	<b>100,00</b>

Comparando as remoções e as emissões de GEE, em  $\text{MgCO}_2\text{e.}$ , observou-se que o estoque de carbono foi superior às emissões de GEE, tornando o balanço de carbono positivo em todos os sistemas silvipastoris avaliados.

O sistema S-3A, por apresentar maior estoque de carbono, obteve também balanço de carbono superior aos demais. Os sistemas S-4A e S-2B, apesar de possuírem características e gerarem emissão de GEE similares, devido à diferença de estocagem de carbono, apresentaram balanço de carbono diferentes (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 – Balanço de carbono, em  $\text{MgCO}_2\text{e.ha}^{-1}$ , para cada sistema silvipastoril avaliado, em Porto Firme, MG

<b>Sistema</b>	<b>Estoque (<math>\text{MgCO}_2\text{e.ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Emissão (<math>\text{MgCO}_2\text{e.ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Balanço (<math>\text{MgCO}_2\text{e.ha}^{-1}</math>)</b>
S-1A	134,49	9,78	+124,71
S-2A	150,81	9,83	+140,98
S-3A	189,64	9,79	+179,85
S-4A	159,46	9,75	+149,71
S-1B	90,49	5,90	+84,59
S-2B	90,97	9,76	+81,21
<b>Média</b>	<b>135,98</b>	<b>9,13</b>	<b>+126,84</b>
<b>Desv.Padrão</b>	<b>±39,36</b>	<b>±1,58</b>	<b>±38,48</b>

Torres (2015) também obteve balanço de GEE positivo em um sistema silvipastoril com *E.urophylla* x *E.grandis* (aos 44 meses) + *B.decumbens* + gado de corte em Viçosa, MG. No entanto, o valor foi inferior ao encontrado neste estudo (+36,22 MgCO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>), devido, em especial, à menor idade dos plantios.

Lopes (2013) avaliando sistemas silvipastoris (eucalipto + braquiária + gado de leite) localizados em Coimbra e Porto Firme, MG, obteve balanço de GEE negativo para ambos os sistemas, -625,22 e -58,88 tCO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>, devido à alta emissão de GEE e à pouca idade dos plantios de eucalipto, que gerou baixo estoque de carbono (31,74 Mg.ha<sup>-1</sup>). Entretanto, a autora considerou além da emissão de fertilização nitrogenada e do componente animal, a geração de GEE pela combustão móvel (preparo do solo e picadeira para silagem) e consumo de energia, elevando muito a emissão dos sistemas.

Nota-se, portanto, que o balanço de carbono está relacionado a fatores ambientais como características edafoclimáticas, manejo florestal e também o escopo adotado para o inventário de GEE, pois este vai delimitar as fontes de emissão e remoção de carbono. Deste modo, se contabilizado o estoque de carbono presente na pastagem e também abaixo do solo nos sistemas silvipastoris estudados, o resultado positivo do balanço de carbono seria ainda maior.

Além disso, no presente estudo, adotou-se um fator de emissão médio de GEE para o gado, baseado em estudos desenvolvidos no Brasil, conforme descrito anteriormente na metodologia. Entretanto, sabe-se que a emissão de metano varia de acordo com a quantidade e qualidade de alimento ingerido pelo animal, e condições dos sistemas de produção. Paralelo a isso, o consumo de alimento está relacionado diretamente com o tamanho do animal, com as condições alimentares, taxa de crescimento e produção (MCTI, 2010). Assim, o balanço de carbono pode alterar-se, o que torna importante o desenvolvimento de diferentes estudos para colaborar no aprimoramento de um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais como será discutido no capítulo seguinte.

Baseado no estoque de carbono por árvore presente nos sistemas, avaliou-se o número de indivíduos de eucalipto necessários para compensar as emissões de GEE para cada sistema silvipastoril na propriedade A e propriedade B (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 – Quantidade de árvores necessárias para compensação das emissões de GEE dos sistemas silvipastoris, em Porto Firme, MG

<b>Sistema</b>	<b>Emissão (MgCO<sub>2e</sub>.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Estoque de carbono (MgCO<sub>2e</sub>.árv<sup>-1</sup>)</b>	<b>Número de árvores do sistema</b>	<b>Árvores necessárias para compensação</b>	<b>Árvores excedentes</b>
<b>Propriedade A</b>					
S-1A	9,78	0,34	390	29	361
S-2A	9,83	0,36	415	28	387
S-3A	9,79	0,47	402	21	381
S-4A	9,75	0,44	363	23	340
<b>Média</b>	<b>9,79</b>	<b>0,40</b>	<b>392</b>	<b>26</b>	<b>366</b>
<b>Propriedade B</b>					
S -1B	5,90	0,22	408	27	381
S -2B	9,76	0,25	363	40	323
<b>Média</b>	<b>7,83</b>	<b>0,23</b>	<b>385</b>	<b>34</b>	<b>351</b>

O sistema S-2B, além de apresentar maior emissão de CO<sub>2e</sub>., possui menor estoque de carbono por indivíduo comparado aos demais. Deste modo, o número de árvores necessárias para neutralizar as emissões de GEE é mais elevado (40).

Por outro lado, o sistema S-3A, por possuir o mais elevado estoque de carbono por indivíduo, necessita uma quantidade menor de indivíduos para compensação.

Em média, são necessários 34 indivíduos de eucalipto para compensar as emissões de GEE dos sistemas silvipastoris, com gado de corte, presentes na propriedade B. Valores superiores se comparados com a média de árvores necessárias para compensar as emissões de GEE da propriedade A.

No entanto, este estudo levou em consideração apenas o carbono do fuste. Assim, se contabilizado o estoque de carbono presente na biomassa abaixo do solo, importante sumidouro, o potencial de neutralização por planta poderia ser 10% superior (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

#### 4. CONCLUSÃO

O estoque de carbono gerado pelo rápido desenvolvimento das árvores de eucalipto contribui de forma positiva para balanço de carbono dos sistemas silvipastoris. Por outro lado, para o escopo adotado, o gado de corte é o principal responsável pelas emissões de GEE, em especial devido à fermentação entérica.

Os sistemas silvipastoris se mostram efetivos com relação à mitigação das emissões de GEE, apresentando potencial para neutralizar grande parte das emissões de carbono na propriedade rural. Além disso, os resultados encontrados no presente estudo colaboram com o desenvolvimento de um sistema de cálculo de balanço de carbono em propriedades rurais, que possa ser utilizado por diferentes produtores rurais e como ferramenta de apoio para iniciativas em diferentes esferas políticas como o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) do Governo Federal.

Material genético, características edafoclimáticas, manejo florestal e também o escopo adotado para o inventário de GEE interferem nas estimativas de balanço de carbono em sistemas silvipastoris. Deste modo, o balanço de carbono pode alterar-se de acordo com o sistema avaliado, o que torna importante o desenvolvimento de outros estudos a fim de aprimorar ainda mais as estimativas de remoção e emissão de carbono no meio rural.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M.; GONTIJO NETO, M. M. O Estado da arte da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Brasil. In: SANTOS (Org.). **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: potencialidades e técnicas de produção**. Montes Claros: Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. 194p. 2012.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAUJO, L. G. C. **Sistemas agroflorestais: Alternativas práticas e reflexões para uma agricultura ecológica na zona da mata mineira**. 59f. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.10, 2011.
- BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, M. C. Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...**Curitiba, PR, Brasil. 30 de abril a 05 de maio de 2011. INPE, p.1705.
- CANALEZ, G. G.; CORTE, A. P. D.; SANQUETA, C. R.; BERNI, D. M. Dinâmica da *Araucaria angustifolia* (Bert.) o. Ktze. E *Ilex paraguariensis* St. Hil. em duas Florestas de Araucaria no estado do Paraná, Brasil. **Revista Ambiência**, Guarapuava, PR, v.2, n.1, p.09-22, 2006
- CARDOSO, I. M.; GUIJT, I.; FRANCO, F. S. E; FERREIRA NETO, P. S. 2001 Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural Systems**, v.69, p.235-257.

CASTRO NETO, F. **Balço de carbono em uma propriedade com diferentes sistemas agroflorestais localizada na Zona da Mata de Minas Gerais.** 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2013.

COELHO, D. J. S.; SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, C. M. L. Levantamento da cobertura florestal natural da microrregião de Viçosa, MG, utilizando-se imagens de LANDSAT 5. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.17-24, 2005.

ESTEVES. S. N.; BERNARDI. A. C. C.; VINHOLIS. M. M.; PRIMAVESI. O. **Estimativas da emissão de metano por bovinos criados em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos – SP.** Embrapa: Circular Técnica. 7p. 2010.

FERNANDES, J. M. **Taxonomia e etnobotânica de Leguminosae Adans. Em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na zona da mata mineira.** 2007. 223f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2007.

FERNANDES, F. E. P.; CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Sistemas agrossilvipastoris e o aumento da densidade de nutrientes para bovinos em pastejo. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 7, n. 11, 2006.

FERNANDES. M.M. **Caracterização de Solos e Uso Atual Empregando Aerofotos Não-Convencionais nas Sub-Bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo. MG.** 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1996.

FERREIRA, E. A. **O destino do nitrogênio derivado da liteira de plantas forrageiras e das excretas de bovinos em sistemas de pastagens tropicais.** 188f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ, 2002.

FIGUEIREDO, D. M; OLIVEIRA, A. S.; SALES, M. F. L.; PAULINO, M. F.; VALE, S. M. L. R. Análise econômica de quatro estratégias de suplementação para recria e engorda de bovinos em sistema pasto-suplemento. **R.bras.zootec.**, v.36, n.5, p.1443-1453, 2007.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188

GUARIENTI, S. A. **Biomassa nos sistemas de produção silvipastoril, pastagem e floresta homogênea.** 84f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Guarapuava – PR, 2012.

IBRAHIM, M.; GUERRA, L.; CASASOLA, F.; NEELY, C. **Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits.** In:



Grassland carbon sequestration: management, policy and economics, v.11, p.189-196, FAO, 2010.

LESSA, A. C. R. **Emissão de óxido nítrico e volatilização de amônio de urina e fezes bovinas em pastagens.** 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2011.

LOPES, N. L. **Potencial de neutralização das emissões de gases de efeito estufa na pecuária leiteira pelos sistemas silvipastoris.** 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2013.

LUIZÃO, F. J.; TAPIA-CORAL, S.; GALLARDO-ORDINOLA, J.; SILVA, G. C.; LUIZÃO, R. C. C.; TRUJILLO-CABRERA, L.; WANDELLI, E.; FERNANDES, E. C. M. Ciclos biogeoquímicos em agroflorestas na Amazônia. In: CBSAF 6, 2006. Campos dos Goytacazes. **Anais...**Campos dos Goytacazes: UENF, 2006, p.87-100.

MACEDO. R. L. G. et al. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônomicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore.** v. 30. n.5. p.701-709. 2006.

MAPA - 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. 173p. 2012. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/download.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/download.pdf)>. Acesso em: 18 abr. de 2015.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. **Capítulo 3 – Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa por Setor.** 2010. p.155-256. Brasília. DF. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0215/215038.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215038.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

MORA, C. V. **Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica.** Turrialba, Costa Rica – CATIE (M.Sc. thesis), 92 p., 2001

MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F.; CASTRO, R. V. O.; FERNANDES, E. N. Análise econômica de um sistema agrossilvipastoril de área montanhosa na Zona da Mata mineira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1148-1153, 2011.

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 agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo, n.60, p.11-17, 2009.

OLIVEIRA, E. B.; RIBASKI, J.; ZANETTI, E. 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, M. E.; LEITE, L. L.; CASTRO, L. H. R. Árvores isoladas de duas espécies nativas em pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf no cerrado. **Pasturas Tropicales**, v.27, p.51-56, 2005.

OLIVEIRA JUNIOR, L. B. Mata mineira: um estudo sobre a exclusão social e os limites e possibilidades das políticas de desenvolvimento territorial. 2010. 329f. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, Lavras –MG, 2010.

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, M. G.; VIEIRA, A. L. M.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F.C.. Florística do sistema agroflorestal implantado com a função de corredor ecológico em Seropédica. RJ. **Embrapa Agrobiologia**, 2009.

PRASAD, J. V. N. S. et al. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh. Southern India. **Agroforestry Systems**, v.78, n.2, p.253-267, 2010.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N.; VENTURIN, N. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras. MG. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.343-349, 2006.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.1, n.3, p.33-40, 2003.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. D. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **J. Agr. Res.**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SILVA, S. M. **Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil central**. 58f. Monografia de conclusão de curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2013

SOUZA, H. N. **Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: Rumo à sustentabilidade da agricultura familiar na zona da mata mineira**. 127f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press Company, 1952. 476 p.

**TORRES, C. M. M. E. Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em sistemas agroflorestais. em Viçosa. MG.** 83f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2015.

TSUKAMOTO FILHO, A. A; COUTO, L; NEVES, J.C.L. et al. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista de Agrossilvicultura**, v. 1, p.29–41, 2004.

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

VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais.** 101f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2004.

VILLANOVA, P. H. **Dinâmica do crescimento em carbono e potencial de compensação do componente arbóreo em sistemas agroflorestais no município de Viçosa-MG.** 39f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2014.

## **CAPÍTULO 4**

### **SISTEMA CARBONO ZERO: CÁLCULO DE BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM PROPRIEDADES RURAIS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Na 15ª COP (Conferência das Partes) ocorrida em Copenhague no ano de 2009, o Brasil assumiu o compromisso, voluntário, de reduzir entre 36,1% e 38,9% as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) projetadas em 2020, com base nos valores de 2005, como consta na Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12,187/09 e Decreto nº 7.390/10).

Para atingir tal meta, foram adotadas medidas de baixa emissão de carbono, em especial relacionadas ao setor de mudança do uso do solo, responsável por 77% das emissões brasileiras em 2005. Dentre estas medidas, destacam-se reduzir em 80% a taxa de desmatamento na Amazônia e 40% no Cerrado; recuperar pastagens degradadas; promover ativamente a integração Lavoura-Pecuária (iLP) e Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); ampliar o uso do plantio direto e da fixação biológica de nitrogênio; ampliar a eficiência energética; o uso de biocombustíveis; a oferta de hidrelétricas e ampliar o uso de carvão de florestas plantadas pela siderurgia (MCTI, 2010).

Para o produtor rural que tem interesse em adotar ações de baixa emissão de GEE em sua propriedade, o governo brasileiro oferece incentivos econômicos e financeiros, além de assistência técnica, palestras, *workshops*, incentivo a pesquisas tecnológicas e mecanismos de certificação agrícola (MAPA, 2012).

Algumas normas de certificação agrícola já possuem em suas diretrizes aspectos relacionados à redução e mitigação de GEE na propriedade rural. A *RainForest Alliance Certified™*, por exemplo, desenvolvida pela Rede de Agricultura Sustentável (SAN, em inglês), destaca no Critério 10.6 pertencente ao Princípio 10 (Manejo integrado de resíduos), que a organização deve documentar e implementar um plano para registrar anualmente as principais emissões de GEE e determinar ações para diminuir estas emissões oriundas de fertilizantes nitrogenados e agrotóxicos, combustíveis fósseis para maquinário, pecuária, resíduos e tratamento de águas residuais. A SAN certifica produtos como café, chá, cacau, banana e demais frutas tropicais (SAS, 2010), além da pecuária.

Para a pecuária, há o Princípio 14 da Norma para Sistemas Sustentáveis de Produção Pecuária (SAN-S-4-1P), especificamente relacionado à redução da emissão de gases de efeito estufa. Este Princípio, que é adicional e ainda não vinculante para fins de auditoria, recomenda a redução das emissões de GEE através de uma dieta animal melhorada, da otimização das atividades, processamento de resíduos e excretos e da implementação de sistemas agroflorestais (RAS, 2010).

A Norma da BONSUCRO™ – *Better Sugar Cane Initiative* apresenta dois Critérios associados à redução da emissão de GEE pela produção sucroalcooleira. O Critério 3.2 em que o interessado deve monitorar as emissões de GEE, visando minimizar os impactos na mudança climática por unidade-peso produzido de açúcar ou etanol, e o Critério 6.1 relacionado ao monitoramento das emissões de GEE pela mudança do uso do solo e aplicável às operações que iniciaram suas atividades após 23 de janeiro de 2008 e para o cumprimento da Diretiva da União Europeia para Energias Renováveis (BONSUCRO, 2011).

O Princípio 3 da Norma *RSB – Roundtable on Sustainable Biomaterials* é dedicado a atenuação das mudanças climáticas e leva em consideração a análise das emissões de GEE no ciclo de vida do biocombustível adotado, comparado ao combustível fóssil escolhido como linha de base (RSB, 2011). A Norma disponibiliza uma ferramenta on-line para cálculo das emissões de GEE e requer a redução de 50% das emissões em relação ao combustível fóssil.

O padrão RTRS – *Round Table on Responsible Soy Association*, associado a produção responsável de soja, também possui em seu Princípio 4, Critério 3, abordagem

sobre redução de emissões e aumento do sequestro de gases de efeito estufa na fazenda. Neste item, o uso de combustíveis fósseis e de material orgânico no solo devem ser monitorados. Além disso, a restauração da vegetação nativa, as plantações florestais e outros meios são incentivados (RTRS, 2013).

Nota-se que, diante do cenário de mudanças climáticas, é cada vez maior a demanda e exigência de diferentes setores da economia por ações de redução e mitigação das emissões de GEE. Paralelo a isso, é crescente a busca por ações de incentivo a práticas mais sustentáveis no campo.

Neste sentido, é importante que cada propriedade conheça as suas emissões, remoções e o seu balanço de carbono. Assim, em um primeiro momento, é necessário que sejam desenvolvidas ferramentas que permitam conhecer este balanço, de forma que produtor, com base na sua realidade, possa adotar medidas para diminuir as emissões de GEE oriundas de suas atividades e aumentar o incremento de carbono pelas florestas existentes ou plantadas na propriedade.

Objetivou-se com este estudo desenvolver e implementar um sistema de cálculo de balanço de GEE que possa servir de ferramenta e subsídio para a implantação de iniciativas de baixo carbono junto aos produtores rurais no Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1.O Sistema Carbono Zero**

O Sistema Carbono Zero (SCZ) foi desenvolvido pela equipe técnica da Diretoria de Tecnologia da Informação (DTI) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em uma parceria com a equipe Carbono Zero e o Departamento de Engenharia Florestal (UFV). Utilizou-se a linguagem de programação PHP (acrônimo recursivo para PHP: Hypertext Preprocessor) e ambiente de trabalho Zend Framework.

O SCZ foi elaborado de forma que as variáveis de entrada, bem como fórmulas, coeficientes e demais parâmetros fossem totalmente editáveis, permitindo grande flexibilidade e capacidade de melhoria.

O sistema de cálculo está sendo aplicado junto aos produtores rurais durante a Semana do Fazendeiro desde o ano de 2013 e está sendo aperfeiçoado ao longo deste tempo. Anteriormente, o cálculo do balanço de GEE em propriedades rurais era realizado em planilha do Microsoft Excel, limitando o acesso rápido e coleta de determinadas informações.

A Semana do Fazendeiro é um evento extensionista realizado tradicionalmente no campus-sede da Universidade Federal de Viçosa. A cada ano produtores rurais de todo o Brasil participam de cursos, oficinas, workshops, clínicas tecnológicas, shows artísticos, leilão de animais, exposição de máquinas agrícolas, dentre outras atividades culturais.

Conjuntamente à Semana do Fazendeiro é desenvolvido o Projeto Carbono Zero na Tenda Carbono Zero, em que é trabalhado junto aos produtores rurais participantes do

evento, questões ambientais contemporâneas e ações de mitigação das mudanças climáticas. Dentre os objetivos do Projeto Carbono Zero destacam-se:

- Traçar o perfil dos produtores rurais participantes e de suas propriedades;
- Quantificar as emissões de GEE das atividades desenvolvidas pelos (as) produtores (as) rurais;
- Levantar as áreas florestadas e reflorestadas das propriedades e estimar seu potencial de estocagem de CO<sub>2</sub>;
- Fazer o balanço de fixação de CO<sub>2</sub> e emissão de GEE dos produtores rurais;
- Orientar os produtores quanto ao seu papel em relação às mudanças climáticas e outras problemáticas ambientais; e
- Contribuir para a manutenção e recomposição da cobertura vegetal das propriedades rurais, através da doação de mudas de espécies nativas.

O inventário de emissões e remoções de GEE deve ser realizado anualmente, de forma que o produtor rural possa visualizar as principais fontes emissoras e sumidouros de GEE na propriedade rural e compreender a importância de suas ações na mitigação das mudanças climáticas. Além do cálculo ser anual, o mesmo deve ser individual e por propriedade rural.

## **2.2.Cálculo do Balanço de Carbono em propriedade rural**

### **2.2.1. Emissão de GEE**

Os cálculos de emissões de GEE foram realizados de acordo com a atividade desenvolvida na propriedade e seguindo as diretrizes do IPCC (2006) e MCTI (2010).

- **Pecuária**

O animal emite GEE através de seu metabolismo digestivo e pelo manejo de seus dejetos.

A fermentação entérica é parte do processo digestivo natural dos herbívoros ruminantes que ocorre de forma anaeróbica no aparelho digestivo dos animais (rúmen e retículo), gerando energia, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (CETESB et al., 2011). Como o CH<sub>4</sub>, subproduto da



digestão, não pode ser metabolizado pelo animal, a maior parte é removida do rúmen pela eructação dos animais, refletindo em perda de energia bruta (MOSS, 1995).

Assim, estimou-se a emissão de metano (CH<sub>4</sub>) oriundas da fermentação entérica, conforme equação 4.1:

$$E_{FECH_4} = FE_t * \left(\frac{Ef_t}{10^3}\right) \quad (4.1)$$

em que:

$E_{FECH_4}$  = emissão de metano, em Mg;

$Ef_t$  = número de animais da categoria t;

$FE_t$  = Fator de Emissão do CH<sub>4</sub> associado ao animal de categoria Mg, em Kg CH<sub>4</sub>. cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

As aves, como não geram metano em seu processo digestivo, foram excluídas dos cálculos de emissão por fermentação entérica. No entanto, considerou-se, para todos os animais, a emissão de GEE pelos dejetos.

A emissão de CH<sub>4</sub> pelo manejo do resíduo dos animais foi calculada da mesma maneira feita para fermentação entérica. Já a emissão de N<sub>2</sub>O foi obtida pelo somatório das emissões diretas e indiretas de óxido nitroso, sendo que a emissão direta proveniente de dejetos de animais em pastagem foi calculada conforme a equação 4.2:

$$E_{N_2O} = (\sum Ef_t * N_t * AWMS_t * EF_{pastagem}) / 10^{-3} \quad (4.2)$$

em que:

$E_{N_2O}$  = emissão de óxido nitroso, em Mg;

$Ef_t$  = número de animais da categoria t;

$N_t$  = quantidade de nitrogênio excretada pelo animal de categoria t, em Kg;

$AWMS_t$  = fração de nitrogênio excretada pelos animais de categoria t que é aplicado nas pastagens, Considerou-se 100%;

$EF_{pastagem}$  = fator de emissão de N<sub>2</sub>O para pastagem, em Kg N<sub>2</sub>O.Kg N excretado<sup>-1</sup>.

As emissões indiretas de N<sub>2</sub>O em pastagem são calculadas pelo somatório das emissões de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> por deposição atmosférica e pela lixiviação de nitrogênio no solo (IPCC, 2006). Parte do nitrogênio excretado pelos animais é volatilizada na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> e retorna ao solo pela deposição atmosférica, podendo ser emitido novamente na forma de N<sub>2</sub>O (EMPRAPA, 2006). Além disso, parte do N presente no esterco dos animais em pastagens, quando utilizado como fertilizante, pode ser escoado ou lixiviado aos cursos d'água.

Deste modo, foram calculadas as emissões indiretas de N<sub>2</sub>O por deposição atmosférica (equação 4.3) e por lixiviação (equação 4.4).

$$E_{N_2O_{gas}} = (N_s * Fr * EF_d) / 10^{-3} \quad (4.3)$$

em que:

$E_{N_2O_{gas}}$  = emissão de óxido nitroso, em Mg;

$N_s$  = quantidade de nitrogênio contido nos dejetos para pastagem, em Kg;

$Fr$  = fração de nitrogênio excretada pelos animais que volatiliza como NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, em Kg NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>.Kg N excretado<sup>-1</sup>. Considerou-se 0,2, conforme IPCC (2006);

$EF_d$  = fator de emissão de N<sub>2</sub>O para deposição atmosférica, em Kg N<sub>2</sub>O, Kg NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> emitido<sup>-1</sup>. Adotou-se 0,01 segundo IPCC (2006).

$$E_{N_2O_{lixiv}} = (N_{pastagem} * Fr * EF_l) / 10^{-3} \quad (4.4)$$

em que:

$E_{N_2O_{lixiv}}$  = emissão de óxido nitroso, em Mg;

$N_{pastagem}$  = quantidade de nitrogênio contido nos dejetos na pastagem, em Kg;

$Fr$  = fração de nitrogênio excretada pelos animais que é lixiviado, em Kg N.Kg N excretado<sup>-1</sup>. Considerou-se 0,3, conforme IPCC (2006);

$EF_l$  = fator de emissão de N<sub>2</sub>O para lixiviação, em Kg N<sub>2</sub>O.Kg N lixiviado<sup>-1</sup>. Adotou-se 0,025 segundo IPCC (2006).

Os fatores de emissão utilizados, tanto para cálculo da emissão de metano decorrente da fermentação entérica quanto para o manejo de resíduos, foram obtidos de

pesquisas científicas desenvolvidas no Brasil, além de diretrizes da MCT (2010) e IPCC (2006).

- **Agricultura**

As emissões de N<sub>2</sub>O provenientes da agricultura podem ser diretas, quando provenientes do uso de fertilizantes orgânicos ou minerais à base de nitrogênio, e indiretas. As emissões indiretas são originadas da volatilização e subsequente deposição atmosférica de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> e da lixiviação e escoamento de nitrogênio proveniente de fertilizantes (Equações 4.5, 4.6 e 4.7),

$$E_d = N * FE_d * 298 \quad (4.5)$$

em que:

E<sub>d</sub> = emissão direta de N<sub>2</sub>O, em MgCO<sub>2e</sub>;

N = quantidade de N utilizada, em Mg;

FE<sub>d</sub> = Fator de Emissão do nitrogênio diretamente aplicado aos solos agrícolas, em Mg N<sub>2</sub>O/Mg de N aplicado;

$$E_{il} = N * F_{il} * FE_{il} * 298 \quad (4.6)$$

em que:

E<sub>il</sub> = emissão indireta de N<sub>2</sub>O da lixiviação, em MgCO<sub>2e</sub>;

N = quantidade de N utilizada, em Mg;

F<sub>il</sub> = fração do nitrogênio adicionado ao solo que é perdida por lixiviação (IPCC (1997) recomenda 0,3 Mg N lixiviado/Mg de fertilizante);

FE<sub>il</sub> = fator de emissão para lixiviação (IPCC (1997) recomenda 0,0075 Mg de N<sub>2</sub>O-N/kg de N lixiviado)

$$E_{iv} = N * F_{iv} * FE_{iv} * 298 \quad (4.7)$$

em que:

E<sub>iv</sub> = emissão indireta de N<sub>2</sub>O da deposição atmosférica, em MgCO<sub>2e</sub>;

N = quantidade de N utilizada, em toneladas;

F<sub>iv</sub> = fração do nitrogênio adicionado ao solo que volatiliza como NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> (IPCC

(1997) recomenda 0,1 Mg [NH<sub>3</sub>-N e NO<sub>x</sub>-N]/Mg de N aplicado);

FE<sub>iv</sub> = fator de emissão para deposição atmosférica (IPCC (1997) recomenda 0,01 Mg N<sub>2</sub>ON/Mg [NH<sub>3</sub>-N e NO<sub>x</sub>-N]).

A emissão de CO<sub>2</sub> pela calagem foi calculada pela multiplicação da quantidade de calcário e pelos respectivos fatores de emissão (Equação 4.8),

$$E_{CO_{2e}} = Q_A \cdot FE_{Calagem} \cdot \frac{44}{12} \quad (4.8)$$

em que:

$E_{CO_{2e}}$  = emissão de dióxido de carbono equivalente, em Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

$Q_A$  = quantidade de calcário aplicada na propriedade, em Mg.ha<sup>-1</sup>;

$FE_{Calagem}$  = fator de emissão para a calagem, Segundo o IPCC (2006), 12% para CaCO<sub>3</sub> e 13% para CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

O produtor rural insere dados de área produtiva, por cultura, e a partir dos dados de recomendação de adubação e calagem obtidos em pesquisas bibliográficas realizadas, o sistema faz o cálculo de emissão de GEE por cultivo agrícola.

- **Outras emissões**

As emissões de GEE relacionadas ao consumo de energia (elétrica, GLP e lenha) e queima de combustíveis foram calculadas de acordo com a Equação 4.9:

$$E_i = C_i * FE_{ij} * PAG_{ij} \quad (4.9)$$

em que:

$E_i$  = emissão de dióxido de carbono equivalente, em Mg;

$C_i$  = quantidade de energia i (estacionária ou móvel) consumida;

$FE_{ij}$  = Fator de Emissão do combustível i relacionada ao GEE<sub>j</sub>;

$PAG_j$  = Potencial de Aquecimento Global do GEE<sub>j</sub>;

$j$  = CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>.

### **2.2.2. Remoções de CO<sub>2</sub>**

O sistema também permite o cálculo das remoções de dióxido de carbono pelas florestas, nativas e plantadas. O usuário informa a área de floresta presente em sua propriedade, discriminada por tipo de formação florestal e faixa etária. Assim como feito para os cultivos agrícolas, o sistema calcula o incremento médio anual total de carbono baseado no banco de dados de incremento de carbono retirado de estudos desenvolvidos no Brasil, inclusive das estimativas de carbono obtidas nos três primeiros capítulos.

### **2.2.3. Balanço de emissões e remoções de GEE**

O balanço de remoções e emissões de GEE da propriedade é obtido pela diferença entre o somatório do incremento médio anual de carbono pelas florestas e a emissão total de GEE. Para isto, primeiramente as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são convertidas em dióxido de carbono equivalente, unidade, a partir da multiplicação do montante de cada GEE pelo seu respectivo Potencial de Aquecimento Global (PAG), de acordo com as recomendações do IPCC (2006).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir da metodologia descrita anteriormente, desenvolveu-se um sistema de cálculo de balanço de carbono para propriedades rurais, apresentado a seguir.

#### **3.1. Apresentação do Sistema Carbono Zero**

##### **3.1.1. Entrada de dados**

Na tela inicial do Sistema Carbono Zero há uma breve descrição do Projeto Carbono Zero, objetivos e metas a serem alcançadas (Figura 4.1). O interessado tem duas possibilidades de realizar o cálculo de balanço de GEE na propriedade rural:

- Sem cadastro, ou seja, o indivíduo efetua a pegada de carbono apenas inserindo dados pessoais simplificados como cidade e estado de origem, idade, gênero e escolaridade. Além de informações da propriedade rural como tamanho (área) e cidade/estado. Neste tipo de cálculo as informações relacionadas ao balanço de carbono são temporárias, ou seja, o sistema não permite que o produtor edite seus cálculos ou compare a pegada de carbono entre diferentes anos para uma mesma propriedade rural ou entre propriedades rurais distintas do proprietário.
- Com cadastro. O produtor rural insere dados, pessoais e de sua propriedade, mais completos. Nesta etapa, o usuário deve cadastrar seu Cadastro de

Pessoa Física (CPF) e senha. Esta será a forma de identificação do indivíduo que possibilitará o mesmo realizar o cálculo do balanço de GEE para cada propriedade rural cadastrada e acessar novamente os cálculos para edição, acompanhamento e/ou impressão.



Figura 4.1 – Tela inicial do Sistema Carbono Zero.

Após o registro pessoal, o usuário deve cadastrar a propriedade rural. Para isto, deve ir em “Cadastrar nova propriedade”. Nesta aba, preenche-se com dados da propriedade como nome, cidade, estado e tamanho da área. Com a propriedade cadastrada o produtor pode iniciar os cálculos da pegada de carbono, clicando no nome da propriedade e, posteriormente, em “Efetuar novo cálculo” (Figura 4.2).

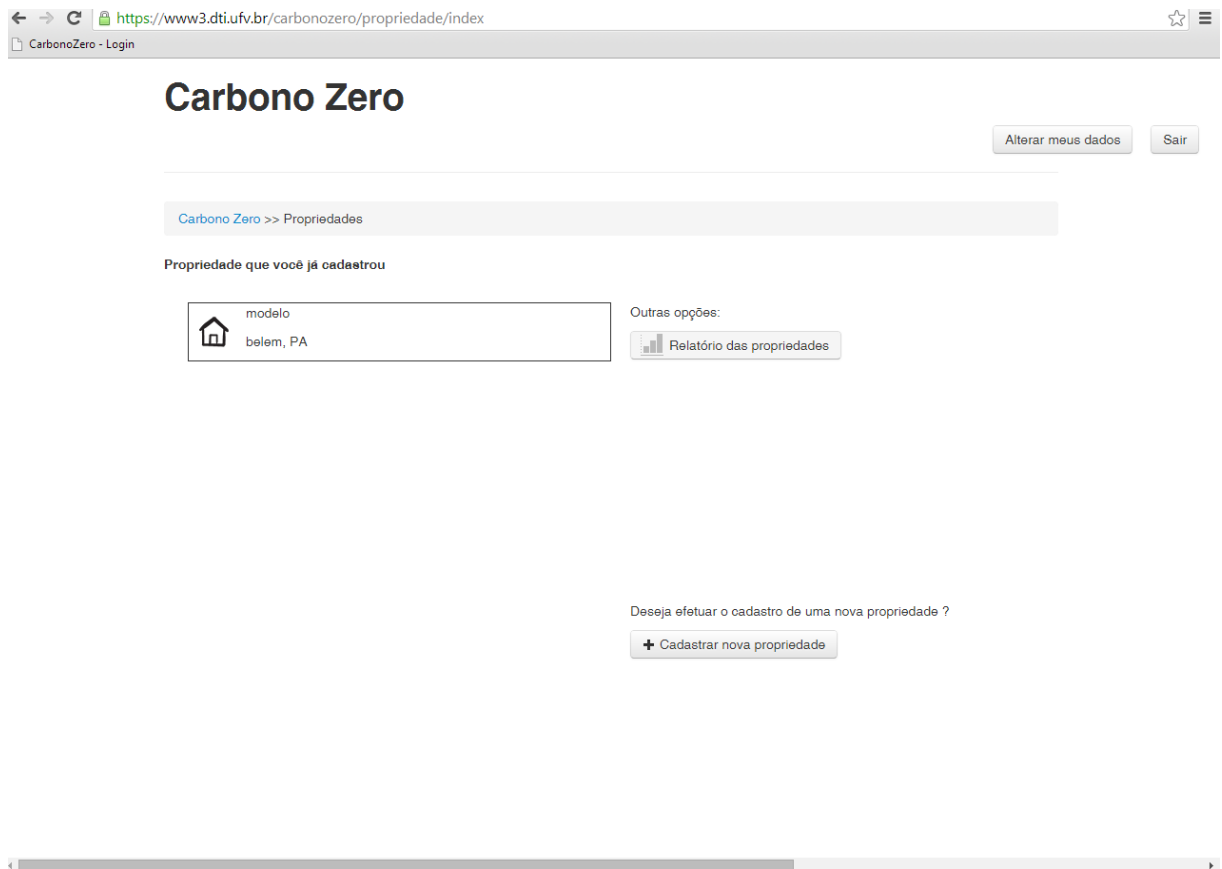


Figura 4.2 – Tela do Sistema Carbono Zero de acesso e cadastro de propriedades rurais.

O Sistema Carbono Zero permite que os usuários cadastrados visualizem e/ou alterem os cálculos de balanço de GEE já realizados, além de poder compararem a evolução das pegadas de carbono entre os anos e entre propriedades, caso seja cadastrada mais de uma propriedade (Figura 4.3).



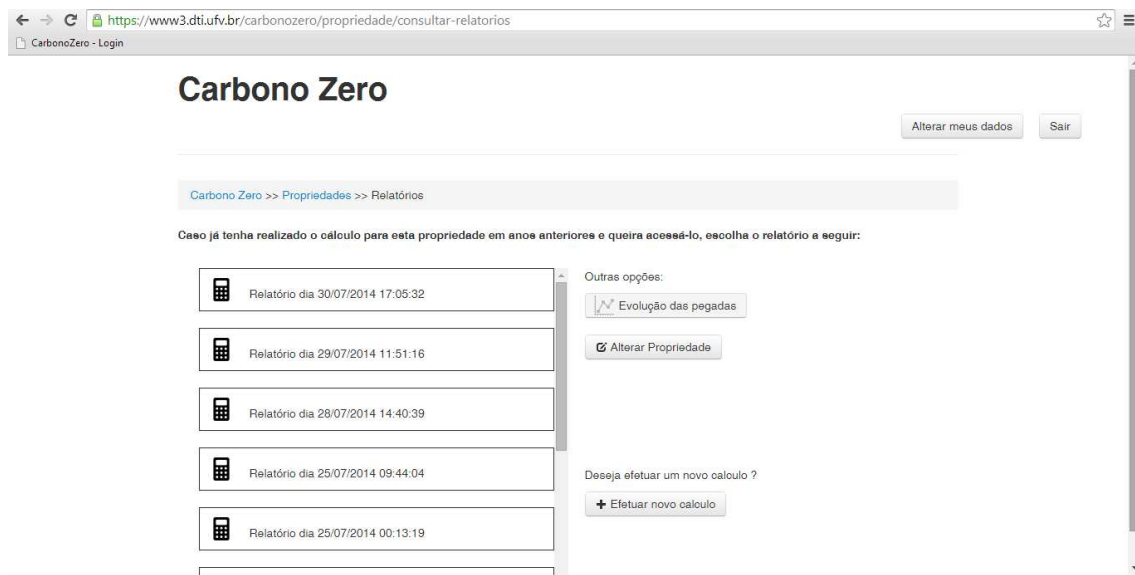




Figura 4.3 – Tela do Sistema Carbono Zero com os relatórios de balanço de GEE elaborados para a propriedade rural.

O cálculo das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) pela fermentação entérica e dejetos de animais, e emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a partir da decomposição de dejetos são consideradas para as seguintes classes de animais: gado de corte e de leite, divididos em machos, fêmeas adultas e jovens, aves; bubalinos; caprinos; equinos; muares; ovinos e suínos (Figura 4.4).

Os cálculos das emissões de GEE são baseados no número de animais por categoria e na região do país (informada no cadastro da propriedade).

← → ↻ <https://www3.dti.ufv.br/carbonozero/default/calculo/index>  

CarbonoZero - Login

## Carbono Zero

### Etapa 1 de 6 : Pecuária

Emissões referentes ao metano (CH4) produzido pela decomposição de dejetos dos animais e pelo processo de fermentação entérica; e emissões decorrentes do óxido nitroso (N2O) a partir da decomposição dos dejetos.

#### Gado de corte

Machos adultos  
 Número médio de animais machos adultos (bois) existentes na propriedade no último ano.

Fêmeas adultas  
 Número médio de animais fêmeas adultas (vacas de corte) existentes na propriedade no último ano.

#### Gado de leite

Animais adultos  
 Número médio de animais adultos destinados à produção de leite existentes na propriedade no último ano.

#### Jovens para corte e leite

Jovens  
 Número médio de animais jovens (bezerros, bezerras, garrotes e novilhas) existentes na propriedade no último ano.

#### Outros animais

Áves  
 Número médio de aves (galos, galinhas, patos, patas, marrecos, gansos, etc.) existentes na propriedade no último ano.

Bubalinos  
 Número médio de búfalos existentes na propriedade no último ano.

Caprinos  
 Número médio de caprinos (cabras, cabritos e bode, etc.) existentes na propriedade no último ano.

Equinos  
 Número médio de equinos (cavalos, eguas, etc.) existentes na propriedade no último ano.

Muarees  
 Número médio de muarees (burros, mulas, etc.) existentes na propriedade no último ano.

Ovinos  
 Número médio de ovinos (ovelhas) existentes na propriedade no último ano.

Suínos  
 Número médio de suínos (porcos) existentes na propriedade no último ano.

Próximo →

Figura 4.4 – Etapa 1 do Sistema Carbono Zero: Emissões de GEE pela pecuária.

Outro item importante que o sistema leva em consideração é o consumo de energia na propriedade rural. Para a energia elétrica, o usuário insere o valor médio mensal pago, em reais, ou o montante de energia consumido por mês (KWh). O consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), conhecido como gás de cozinha, também é contabilizado preenchendo com o número de botijões de gás consumido em um ano e o respectivo peso do mesmo.

Como é comum em propriedades rurais, o consumo de lenha para produção de energia de forma geral, inseriu-se um campo na segunda etapa, em que o usuário informa a quantidade, em Kg, de lenha consumida por mês (Figura 4.5).

The screenshot shows a web browser window with the URL <https://www3.dti.ufv.br/carbonozero/default/calculo/index>. The page title is "Carbono Zero". The main heading is "Etapa 2 de 6 : Energia". Below this, there are three sections for data entry:


- Energia elétrica:** A sub-heading "Energia elétrica" is followed by the instruction "Preencher APENAS com o consumo em kWh ou com o valor em R\$". There are two input fields: "Consumo em kWh" (with a value of 0) and "Valor em R\$" (with a value of 0). Both fields have descriptive text below them: "Consumo médio de energia elétrica, em quilowatt-hora por mês (kWh/mês)." and "Valor médio pago pela conta de energia da propriedade, em reais por mês (R\$/mês)."
- Gás Liquefeito de Petróleo (GLP):** This section has two input fields: "Botijões de gás" (with a value of 0) and "Peso do botijão" (with a value of 0). The descriptions are "Número médio de botijões de gás gastos, na casa ou em outro local da propriedade, por ano." and "Peso do botijão de gás (geralmente 13 kg), em quilogramas (kg)."
- Madeira para Energia:** A sub-heading "Madeira para Energia" is followed by the instruction "Madeira (Lenha) usada para energia na propriedade rural". There is one input field "Lenha" (with a value of 0) and the description "Lenha usada na propriedade para queima, em quilogramas por mês (kg/mês)."

At the bottom of the form, there are two buttons: "Voltar" (with a left arrow) and "Próximo" (with a right arrow).

Figura 4.5 - Etapa 2 do Sistema Carbono Zero: Emissões de GEE pelo consumo de energia.

A etapa 3, relacionada a combustíveis, está dividida em duas partes: consumo médio mensal de combustíveis de veículos e maquinários próprios e consumo médio mensal de combustível por veículos que não pertencem ao proprietário, mas que o indivíduo e sua família usam com determinada frequência ou que são importantes para o funcionamento das atividades do produtor, como, por exemplo, ônibus que levam os trabalhadores da fazenda.

Os combustíveis presentes são: gasolina, diesel, etanol, Gás Natural Veicular (GNV) e querosene de aviação. Paralelo a isso, o usuário pode inserir a quantidade de óleo lubrificante (em litros/mês) utilizados para lubrificar e aumentar a vida útil de máquinas agrícolas e florestais, veículos e equipamentos (Figura 4.6).

← → ↻ <https://www3.dti.ufv.br/carbonozero/default/calculo/index> 

CarbonoZero - Login

## Carbono Zero

### Etapa 3 de 6 : Transporte

#### Combustível gasto na propriedade

Quantidade média de combustível gasto nas atividades realizadas na propriedade, como por exemplo: máquinas, equipamentos e veículos envolvidos na produção.

Gasolina  Quantidade média de gasolina consumida, em litros por mês (l/mês).

Diesel  Quantidade média de diesel consumido, em litros por mês (l/mês).

Querosene de aviação  Quantidade média de querosene de aviação consumido, em litros por mês (l/mês).

Gás veicular (GNV)  Quantidade média de gás veicular consumido, em metros cúbicos por mês (m³/mês).

Alcool  Consumo médio de alcool (combustível) na propriedade (litros/mês).

#### Combustível gasto por terceiros

Quantidade e distância de veículos utilizados por terceiros para deslocamento de trabalhadores até a propriedade, ou seja, que não pertencem ao produtor.

Quantidade (Ônibus)  Número de ônibus utilizados para deslocamento até à propriedade.

Distância (Ônibus)  Distância percorrida pelo ônibus para deslocamento até à propriedade, em quilômetros por ano (km/ano).

Quantidade (Micro-ônibus)  Número de micro-ônibus utilizados para deslocamento até à propriedade.

Distância (Micro-ônibus)  Distância percorrida pelo micro-ônibus para deslocamento até à propriedade, em quilômetros por ano (km/ano).

Quantidade (Automóvel à gasolina)  Número de automóveis à gasolina utilizados para deslocamento até à propriedade.

Distância (Automóvel à gasolina)  Distância percorrida pelo automóvel à gasolina para deslocamento até à propriedade, em quilômetros por ano (km/ano).

Quantidade (Motocicleta)  Número de motocicletas utilizadas pelos trabalhadores para deslocamento até à propriedade.

Distância (Motocicleta)  Distância percorrida pelo trabalhador para deslocamento até à propriedade, em quilômetros por ano (km/ano).

#### Óleo Lubrificante

Óleos lubrificantes utilizados para lubrificar e aumentar a vida útil de máquinas agrícolas e florestais, veículos e equipamentos.

Óleos lubrificantes  Quantidade de óleo lubrificante usado, em litros por mês (l/mês).

Figura 4.6 – Etapa 3 do Sistema Carbono Zero: Emissões de GEE pelo consumo de combustíveis.

A etapa 4 refere-se à agricultura. Nela, considerou-se as emissões diretas e indiretas de GEE oriundas da aplicação de fertilizantes (plântio e manutenção) e calagem.

A etapa de agricultura foi dividida em culturas anuais e culturas perenes. Para isto, baseou-se nos principais cultivos agrícolas praticados no país: cana-de-açúcar, arroz, feijão, milho, algodão, mandioca, soja, trigo e café e recomendação técnica para plântio e manutenção para cada região brasileira. Além disso, foi inserido um campo para que o usuário preencha com outras culturas perenes como cacau, fumo, erva-mate, pinhão-manso, banana, mamão etc).

O usuário deve preencher com a área cultivada por cultura, em hectares. Caso haja mais de uma safra na mesma gleba, multiplica-se a área pelo número de safras. A calagem aplicada, em  $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , também deve ser preenchida, se aplicável (Figura 4.7).

Carbono Zero

**Etapa 4 de 6 : Agricultura**

Considera-se as emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa oriundas da aplicação de fertilizantes (plântio e manutenção) e calcário

Culturas anuais

Caso tenha mais de uma safra da cultura na mesma gleba, multiplica a área pela número de safras.

Algodão  
0 Área média de algodão plantada, em hectares no último ano (ha/ano).

Arroz  
0 Área média de arroz plantada, em hectares no último ano (ha/ano).

Cana-de-açúcar  
0 Área média de cana-de-açúcar plantada, em hectares no último ano (ha/ano).

Feijão  
0 Área média de feijão plantada, em hectares no último ano (ha/ano).

Mandioca  
0 Área média de mandioca plantada, em hectares no último ano (ha/ano).

Figura 4.7 – Etapa 4 do Sistema Carbono Zero: Emissões de GEE oriundas das atividades agrícolas.

### 3.1.2. Remoções de GEE

As etapas 5 e 6 do Sistema Carbono Zero referem-se ao incremento médio anual de carbono por florestas nativas e florestas plantadas, respectivamente. Nestas etapas o produtor rural insere a área de floresta, em hectares, presente na propriedade.

As florestas nativas de ocorrência natural foram divididas de acordo com a formação vegetal brasileira e faixa etária aproximada da floresta, para que os cálculos de incremento de carbono sejam mais fidedignos com as características da propriedade rural. Caso o produtor rural tenha dúvidas, há uma breve descrição sobre cada formação vegetal e um *hiperlink* associado com informações adicionais disponíveis na internet.

Se a propriedade rural estiver inserida em mais de uma formação vegetal e for possível distingui-las claramente, o usuário pode preencher mais de um item (Figura 4.8).

**Carbono Zero**

**Etapa 5 de 6 : Incremento de carbono em florestas nativas naturais**

Incremento anual de carbono em florestas nativas naturais. São incluídas aqui, portanto, áreas de floresta nativa primária e/ou sucessão secundária.

**Floresta nativa natural**

Floresta nativa, de ocorrência natural.

**Caatinga**

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, sendo caracterizado por plantas adaptadas ao clima seco e a pouca quantidade de água, como a amburana, o umbuzeiro e o mandacaru. Este bioma pode ser encontrado nos estados da Paraíba, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Maranhão, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e até em alguns locais de Minas Gerais. Veja mais sobre o bioma Caatinga [aqui](#)

Caatinga (até 18 anos de idade)

Área de Caatinga existente na propriedade com idade até 18 anos, em hectares

Caatinga (19 a 40 anos)

Área com Caatinga (19 a 40 anos) existente na propriedade, em hectares

Caatinga (>40 anos)

Área de Caatinga com mais de 40 anos existente na propriedade, em hectares.

**Cerrado**

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, abrangendo oito estados: Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Piauí e Distrito Federal. Nas regiões de cerrado, o clima predominante é quente com períodos mais prolongados de seca. A vegetação caracteriza-se por vegetação baixa e rasteira, com árvores de troncos retorcidos e raízes profundas. Veja mais sobre o Cerrado [aqui](#)

Cerrado

Área de cerrado existente na propriedade, em hectares (ha).

**Mata Atlântica**

A Mata Atlântica é uma das áreas com mais alta biodiversidade e também mais ameaçada do mundo. Originalmente, este bioma estendia-se por 17 estados brasileiros, entretanto, atualmente, restam apenas 12.5% e é onde vivem 62% da população brasileira. A Mata Atlântica é composta por um conjunto de fisionomias e formações florestais, com estruturas e interações ecológicas distintas em cada região, ela está na faixa de transição com os mais importantes biomas do Brasil: caatinga, cerrado, mangues, camprestres e planaltos de araucárias. Veja mais sobre o bioma Mata Atlântica [aqui](#)

Floresta secundária de até 10 anos de idade

Área de floresta em estágio inicial de regeneração existente na propriedade, em hectares (ha).

Floresta secundária (11 a 20 anos de idade)

Área de floresta em estágio médio de regeneração existente na propriedade, em hectares (ha).

Floresta secundária (mais de 20 anos de idade)

Área de floresta em estágio avançado de regeneração existente na propriedade, em hectares (ha).

Continua...

**Floresta Amazônica**

*Com uma área de aproximadamente 5,5 milhões de km², a Floresta Amazônica é a principal cobertura vegetal do Brasil, ocupando 45% do nosso território, além de espazos de mais nove países, sendo também a maior floresta tropical do mundo. A Floresta Amazônica caracteriza-se por ser heterogênea, havendo um elevado número de espécies vegetais e animais. Além disso, ela é perene, ou seja, permanece verde durante todo o ano, não perdendo as suas folhas no outono. Costuma-se classificar essa floresta conforme a proximidade dos cursos d'água. Dessa forma, existem três subtipos principais: mata de igapó, mata de várzea e mata de terra firme.*

Veja mais aqui.

Floresta Amazônica primária	0	Floresta antiga que nunca foi explorada ou perturbada pela ação antrópica.
Floresta Amazônica (até 10 anos)	0	Vegetação com até 10 anos de idade.
Floresta Amazônica (11 a 20 anos)	0	Vegetação com idade entre 11 e 20 anos.
Floresta Amazônica (entre 21 e 80 anos)	0	Vegetação com idade entre 21 e 80 anos.
Floresta Amazônica (com idade superior a 80 anos)	0	Vegetação com idade superior a 80 anos.

← Voltar   Próximo →

Figura 4.8 – Etapa 5 do Sistema Carbono Zero: Incremento médio anual de carbono por florestas nativas naturais.

Na etapa 6, relacionada às florestas plantadas, levou-se em consideração as principais espécies florestais utilizadas para fins de produção no Brasil: eucalipto, pinus, acácia-negra, seringueira, paricá e teca, de acordo com SFB (2013). Árvores frutíferas presentes em pomares ou isoladas na propriedade rural também estão inseridas nesta etapa e, assim como para as florestas de produção, estão divididas por idade (Figura 4.9).

# Carbono Zero

## Etapa 6 de 6 : Incremento de carbono em floresta plantada

Incremento de carbono anual em áreas plantadas com espécies nativas e/ou exóticas

### Floresta plantada para fins de produção

Floresta plantada, geralmente destinada à produção de madeira.

**Eucalipto**  
 Área de eucalipto existente na propriedade, em hectares (ha).

**Pinus**  
 Área de pinus existente na propriedade, em hectares (ha).

**Acácia-negra**  
 Área total de acácia-negra, em hectares (ha). A acácia-negra (*Acacia mearnsii*) é uma leguminosa arbórea, originária da Austrália, que vem sendo cultivada principalmente no Rio Grande do Sul. É uma espécie de múltiplos propósitos, tais como restauração de ambientes degradados, fixação de nitrogênio, produção de tanino e de energia, dentre outros. A idade de corte no Brasil varia de 5 a 10 anos e a produtividade gira em torno dos 10 a 25 m<sup>3</sup>/ha/ano.

**Teca**  
 Área total de *Tectona grandis*, em hectares (ha). A Teca ocupa cerca de três milhões de hectares de área reflorestada em todo o mundo. No Brasil, os maiores plantios estão em Mato Grosso, com ciclos de 25 anos, e a área plantada é de três mil hectares.

**Paricá**  
 Área total de plantio de paricá, em hectares (ha). A espécie *Shizolobium amazonicum* (paricá) por apresentar rápido crescimento, fuste reto e madeira com elevada cotação no mercado interno e externo, vem sendo bastante cultivada pelas empresas madeireiras da região norte e nordeste do país, principalmente nos estados do Pará e Maranhão.

**Seringueira 15 anos**  
 Área total de seringueira, em hectares (ha). A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma árvore de porte ereto, podendo atingir 30m de altura total sob condições favoráveis, iniciando aos 4 anos a produção de sementes, e aos 6 -7 anos (quando propagada por enxertia) a produção de látex (borracha).

**Seringueira 16 a 21 anos**  
 Área total de seringueira, em hectares (ha). A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma árvore de porte ereto, podendo atingir 30m de altura total sob condições favoráveis, iniciando aos 4 anos a produção de sementes, e aos 6 -7 anos (quando propagada por enxertia) a produção de látex (borracha).

**Seringueira com mais de 21 anos**  
 Área total de seringueira, em hectares (ha). A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é uma árvore de porte ereto, podendo atingir 30m de altura total sob condições favoráveis, iniciando aos 4 anos a produção de sementes, e aos 6 -7 anos (quando propagada por enxertia) a produção de látex (borracha).

### Árvores frutíferas plantadas para fins de conservação ou produção

Considerar árvores plantadas em pomares ou isoladas na propriedade rural

**Árvores com idade entre 2 e 5 anos**  
 Número de árvores plantadas na propriedade com idade entre 2 e 5 anos.

**Árvores com idade entre 5 e 10 anos**  
 Número de árvores plantadas na propriedade com idade entre 5 e 10 anos.

**Árvores com idade entre 10 e 15 anos**  
 Número de árvores plantadas na propriedade com idade entre 10 e 15 anos.

**Árvores com idade superior a 15 anos**  
 Número de árvores plantadas na propriedade com idade superior a 15 anos.

[← Voltar](#) [Finalizar →](#)

Figura 4.9 – Etapa 6 do Sistema Carbono Zero: Incremento médio anual de carbono por florestas plantadas.



Ao finalizar as seis etapas, gera-se o relatório da propriedade rural discriminando as emissões de GEE por setor e as remoções de carbono por tipo de floresta. Pela diferença entre o somatório do incremento médio anual de carbono pelas florestas e a emissão total de GEE, obtém-se o balanço de remoções e emissões de GEE da propriedade.

Baseado neste resultado, o relatório apresenta ao usuário qual o crédito de árvores que sua propriedade possui. Se negativo, ou seja, caso as emissões sejam maiores que as remoções de GEE na propriedade, o sistema mostra quantas árvores nativas devem ser plantadas para compensar as emissões restantes de GEE. Se no relatório constar saldo positivo, ou seja, quando o valor de incremento médio anual total de carbono é superior a emissão total anual de GEE, o documento destaca o crédito de árvores existentes na área (Figura 4.10).

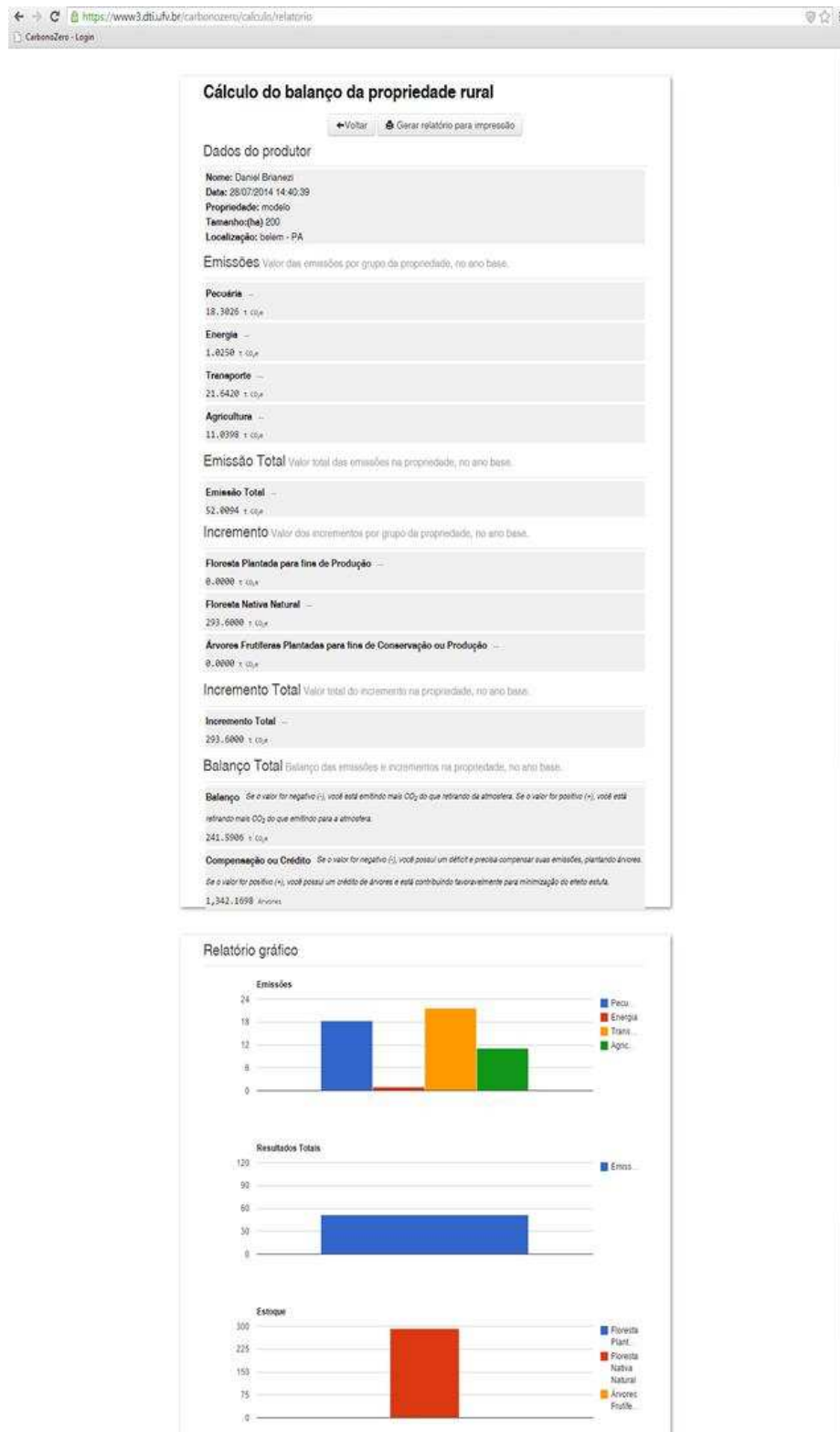


Figura 4.10 – Relatório do balanço de GEE gerado pelo Sistema Carbono Zero.

O saldo positivo não caracteriza que o produtor pode desmatar seu “crédito” de vegetação. Pelo contrário, este é mais um estímulo para que estas áreas permaneçam conservadas e que novos locais sejam reflorestados, se possível.

Apesar de não haver muitos incentivos financeiros para a conservação florestal na zona rural que, conjuntamente com a escassez de práticas de extensão rural, dificultam a manutenção deste “crédito” ambiental, atualmente, há algumas iniciativas de Programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) sendo desenvolvidas no Brasil como, por exemplo, o Programa Conservador das Águas em Extrema, MG.

Estes programas, além de reconhecerem e remunerarem os produtores rurais pela geração de diversos serviços ambientais à sociedade, dentre eles a fixação de carbono pelas florestas, adotam como critérios de pagamento a área e o estado de conservação florestal e/ou adoção de práticas de reflorestamento na propriedade rural. Assim, quanto melhor essas práticas, maior o benefício para o produtor rural e, conseqüentemente, para a sociedade.

O sistema visa gerar um diagnóstico inicial da propriedade rural com relação às emissões de GEE e atentar o produtor sobre as principais fontes de emissão e remoção de GEE. Caso o produtor esteja interessado em uma análise mais específica e profunda, deve contatar um especialista para mais detalhes.

Para entender melhor o funcionamento do sistema, exemplificou-se com dois estudos de caso, descritos a seguir. No primeiro, estimou-se o balanço de carbono em uma propriedade rural localizada na Zona da Mata mineira, utilizando informações obtidas na 85ª Semana do Fazendeiro. Já o segundo estudo de caso simula o balanço de carbono para a área rural de um município, no caso, escolheu-se Aimorés, MG.

### **3.2. Estudo de caso – Propriedade rural da Zona da Mata mineira**

Baseado nos dados coletados durante a Semana do Fazendeiro de 2014, na Tenda Carbono Zero, realizou-se simulações de cálculo de balanço de GEE para uma propriedade rural modelo de 23,5 ha, localizada na Zona da Mata mineira. Os dados da propriedade são:

- Gado de corte: 6 fêmeas, 10 machos e 4 jovens
- Gado de leite: 5 animais

- Equinos: 3 animais
- Aves: 50 animais
- Consumo médio de energia elétrica: R\$1.200,00.ano<sup>-1</sup>
- Consumo de lenha: 1.800 Kg.ano<sup>-1</sup>
- Gás de cozinha: 6 unidades (13Kg) por ano
- Consumo de gasolina: 600 litros.ano<sup>-1</sup>
- Consumo de diesel: 1.200 litros.ano<sup>-1</sup>
- Área de milho: 1 ha
- Área de feijão: 0,5 ha
- Café: 15.000 plantas
- Calagem: 2.000 kg/ha
- Área de eucalipto (5 anos): 1 ha
- Área de Mata Atlântica (cerca de 80 anos): 3 ha
- Número de árvores frutíferas (10 a 15 anos): 20

A emissão total de GEE na propriedade rural foi contabilizada em 81,46 MgCO<sub>2e.</sub>, sendo que 73,65% deste valor foi gerado pela pecuária, oriundo da fermentação entérica e resíduos. A agricultura foi responsável pela emissão de 16,03 MgCO<sub>2e.</sub>, a queima de combustíveis fósseis, 4,60 MgCO<sub>2e.</sub> e a energia, o menor valor, 0,83 MgCO<sub>2e.</sub> (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Emissão de dióxido de carbono equivalente por fonte de emissão para o município da Zona da Mata mineira, MG

Fonte de emissão	Total (MgCO <sub>2e.</sub> )	%
Pecuária	60,00	73,65
Agricultura	16,03	19,68
Combustíveis fósseis	4,60	5,65
Energia	0,83	1,02
<b>Total</b>	<b>81,46</b>	<b>100</b>

As florestas contribuíram com o sequestro de 68,45 tCO<sub>2e</sub>. e o principal sumidouro de carbono foram as florestas plantadas que contabilizaram 46,24 tCO<sub>2e</sub>. No entanto, as emissões de GEE foram superiores ao incremento de carbono pelas florestas. Deste modo, o balanço de remoções e emissões de GEE na propriedade rural simulada foi negativo. O produtor necessitaria plantar 72 árvores para neutralizar as emissões de GEE restantes.

Tão importante quanto conservar as áreas verdes já existentes nas propriedades rurais e incentivar o reflorestamento de novas áreas, é adotar medidas de redução de emissões de GEE na própria propriedade rural como, por exemplo, reduzir o consumo de combustíveis fósseis e utilizar dosagens de adubo e calagem de acordo com recomendações técnicas para o local.

Como o balanço de emissões e remoções de GEE é realizado anualmente, simulou-se que o produtor, no ano seguinte, conseguiu aumentar a área de plantio de eucalipto em 50% e reduziu o consumo de óleo diesel em 20%. Os demais parâmetros permaneceram constantes. Deste modo, as emissões de GEE foram reduzidas em 1%, valor que só não foi maior, pois não houve alteração dos números da pecuária, principal fonte emissora. Entretanto, o incremento médio de carbono elevou-se em 25%, tornando o balanço da propriedade positivo (Figura 4.11).

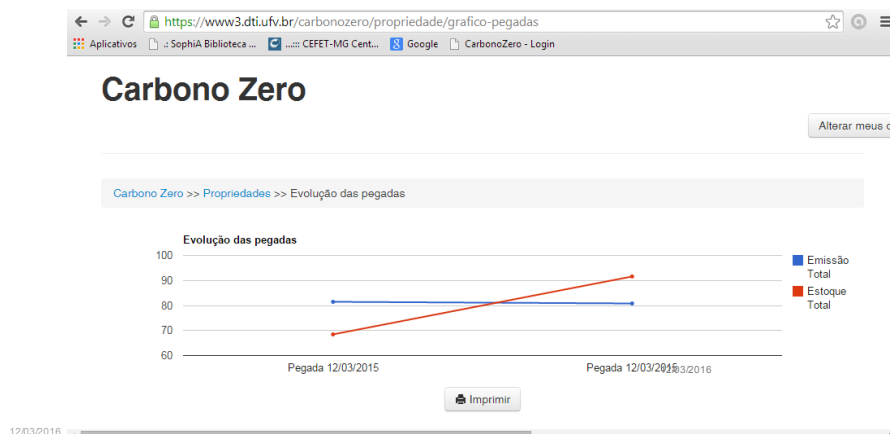


Figura 4.11 – Simulação da evolução dos balanços de emissões e remoções de GEE: Sistema Carbono Zero.

### 3.3. Estudo de caso – município de Aimorés, MG

Neste estudo de caso foi utilizado o Sistema Carbono Zero para estimar o balanço de carbono em área rural municipal. Escolheu-se Aimorés, MG como município-modelo, a fim de contrastar a remoção de carbono por fragmentos florestais no município, em especial pela Fazenda Bulcão e a emissão de GEE pelas atividades agropecuárias.

De acordo com dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2015), o município de Aimorés, MG possui 1.408 propriedades rurais com tamanho médio de 76,07 ha. Neste mesmo período, Aimorés produziu 2.169 toneladas de cana-de-açúcar em 1.350 ha, 783 toneladas de feijão em 820 ha e 11.790 toneladas de milho em 3.280 ha. Deste modo, utilizando o Sistema Carbono Zero estimou-se em 12,07 GgCO<sub>2e</sub>. as emissões oriundas da aplicação de adubo nitrogenado e de calcário nos cultivos agrícolas relacionados (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Área e emissão de CO<sub>2e</sub>. por cultivo agrícola em Aimorés, MG

Cultivo agrícola	Área (ha)	Emissão (MgCO <sub>2e</sub> ..ha <sup>-1</sup> )	Emissão Total (GgCO <sub>2e</sub> .)
Milho	3.280	2,46	8,06
Cana-de-açúcar	1.350	2,21	2,99
Feijão	820	1,25	1,03
<b>Total</b>	<b>5.450</b>	<b>5,92</b>	<b>12,07</b>

No mesmo período, Aimorés tinha população animal composta por 112.403 bovinos, 25.727 aves, 2.544 suínos, 2.439 equinos, 652 ovinos, 634 caprinos e 7 bubalinos, correspondendo a uma emissão ano de 260,74 GgCO<sub>2e</sub>. Logo, as atividades agropecuárias geram, em média, 272,81 GgCO<sub>2e</sub> por ano (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Densidade animal e respectivas emissões de CO<sub>2e</sub>. em Aimorés, MG

<b>Animal</b>	<b>Cabeças (total)</b>	<b>Emissão Total (GgCO<sub>2e</sub>.)</b>
Bovinos	112.403	210,47
Aves	25.727	47,67
Suínos	2.544	0,69
Equinos	2.439	1,32
Ovinos	652	0,13
Caprinos	634	0,34
Bubalinos	7	0,00
<b>Total</b>	<b>144.406</b>	<b>260,74</b>

Aimorés possui 9.686 ha de Floresta Estacional Semidecidual que correspondem a 31% da área do município (INPE, 2011) e geram incremento médio de 71,03 GgCO<sub>2e</sub>. ano<sup>-1</sup>.

Assim, as florestas neutralizam 26,04% das emissões anuais totais de GEE do setor agropecuário municipal. Este valor poderia ser ainda maior se iniciativas de reflorestamento e conservação florestal como a desenvolvida na Fazenda Bulcão, discutida no primeiro capítulo, fossem incentivadas no município de Aimorés.

Além disso, é importante destacar que ações de redução de emissões de GEE como plantio direto, recuperação de áreas degradadas, sistemas agroflorestais, fixação biológica de nitrogênio etc devem ocorrer concomitantemente.

### **3.4. Avaliação final do Sistema**

A interface do sistema é simples e de fácil compreensão para os usuários, desenvolvida deste modo para que qualquer pessoa, independentemente do nível de instrução, possa utilizá-lo. Além disso, por ser um sistema flexível, ou seja, qualquer parâmetro ou função de cálculo pode ser adicionado ou modificado, permite a continuidade de sua melhoria por estudantes e profissionais da área.

O sistema, além de utilizado para fins acadêmicos, pode contribuir com projetos e iniciativas de redução das mudanças climáticas junto aos produtores rurais em todo o Brasil e servir de subsídio para políticas públicas relacionadas às questões climáticas principalmente vinculadas à agricultura de baixo carbono, bem como no auxílio a inventários de GEE na área rural.

Ademais, o sistema poderia colaborar para uma melhor gestão dos recursos ambientais e produtivos na propriedade rural, otimizando os processos e, conseqüentemente, reduzindo os custos, a partir de uma maior percepção por parte do produtor rural.

Como pontos de melhoria do sistema, pode-se destacar:

- Utilização de outra forma de cálculo de emissões de GEE pela agricultura, considerando além da área produtiva, a quantidade e tipo de adubação nitrogenada e calagem informados pelo agricultor. Assim, haveria duas formas de cálculo de emissões de GEE, determinadas de acordo com o nível de informações que o proprietário possui.
- Adoção de cálculo das remoções de carbono por tipologia vegetal, além da forma já existente no sistema, feita por formação vegetal (Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga etc), assim, aumenta-se a precisão da estimativa de incremento médio de carbono pelas florestas.
- Contabilização, de forma separada, das emissões e remoções de GEE por sistemas agrossilviculturais.
- Inclusão das pastagens manejadas como sumidouro de carbono.
- Geração de informações sobre formas de redução e adaptação de GEE.



#### 4. CONCLUSÃO

O Sistema Carbono Zero (SCZ) se mostra adequado para o cálculo de balanço anual de carbono, contemplando, de forma abrangente, diferentes fontes de emissão e remoção de GEE na propriedade rural.

O sistema permite que os usuários possam acompanhar a evolução do balanço de emissão e remoção de GEE em diferentes anos e conheça as principais fontes de emissão e sumidouros de carbono na propriedade rural.

Além de gerar o balanço de carbono para propriedade rural, o SCZ pode ser utilizado para estimar o balanço de carbono de um determinado município ou região com base em dados de uso e ocupação do solo e colaborar com uma melhor gestão dos recursos ambientais e de produção (insumos, energia etc) dentro da propriedade rural.

Deste modo, o SCZ pode contribuir para um diagnóstico inicial e mapeamento das emissões e remoções de GEE em propriedades rurais no Brasil, como forma de evidenciar práticas de baixa emissão de carbono e obter créditos rurais por iniciativas governamentais como, por exemplo, o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) e também por programas voluntários como programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Além disso, o SCZ pode auxiliar no atendimento a determinados critérios de padrões de certificação de sustentabilidade ambiental e agregar maior valor aos bens e serviços produzidos nas propriedades rurais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONSUCRO – Better Sugar Cane Initiative. Padrão de Produção - Incluindo Bonsucro EU (Versão 3.0), março de 2011, 29p. Disponível em: <<http://www.bonsucro.com>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

BRASIL. Lei nº 12,187, de 29 de dezembro de 2009 - Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm)>. Acesso em: 12 mar. 2015.

BRASIL. Decreto nº 7,390, de 9 de dezembro de 2010 - Regulamenta os arts, 6º, 11 e 12 da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2015.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO; PROCLIMA – PROGRAMA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Inventário de emissão de metano pela pecuária (fermentação entérica e sistemas de manejo de dejetos animais) do estado de São Paulo, 1990 a 2008.** In: 1º Relatório de Referência do estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 a 2008. São Paulo, SP, 52p., 2011.

EMBRAPA. Documentos técnicos. **Arquivo.** 2006. Disponível em:<<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006.** Aimorés, MG. Disponível em: <

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. Acesso em: 20 set. 2015

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Fundação SOS Mata Atlântica. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. Período 2008-2010. São Paulo, 2011. Disponível em:< <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K., (eds), Published: IGES, Japan, 2006.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixo Carbono na Agricultura: Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**, Brasília: MAPA/ACS, 2012, 173p.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal – Parte 2, Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima, Brasília, 154p., 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 10 mar. 2015.

MOSS, A. R.; GIVENS, D. I.; GARNSWORTHY, P. C. The effect of supplementing grass silage with barley on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 9-33, 1995.

RAS – Norma para Sistemas Sustentáveis de Produção Pecuária. Rede de Agricultura Sustentável – SAN-S-4-1P, julho de 2010 (Versão em Português). 16p. Disponível em:<<http://www.san.ag>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

RSB – Roundtable on Sustainable Biomaterials. RSB Principles & Criteria for Sustainable Biofuel Production – RSB-STD-01-001 (Version 2.1). 29p. Disponível em:<<http://www.rsb.org>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

RTRS – Round Table on Responsible Soy Association. Padrão RTRS para a Produção Responsável de Soja – RTRS-STD-001-V2-0-PORT (Versão 2.0), 28p. Disponível em:<<http://www.responsiblesoy.org>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

SAS – Sustainable Agriculture Standard, Sustainable Agriculture Network - SAN-1-1.2. July 2010 (Version 3), 49p. Disponível em:<<http://www.san.ag>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Florestas do Brasil em resumo – 2013: dados de 2007-2012. Brasília, 188p. 2013.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As florestas, nativas ou plantadas, contribuem de forma favorável para o balanço de GEE em propriedades rurais e, conseqüentemente, para a atenuação das alterações climáticas como pode ser observado nos três primeiros capítulos. Deste modo, projetos de reflorestamento e com sistemas agroflorestais devem ser mais incentivados no Brasil de forma a propiciar não somente alternativa de renda aos produtores rurais, mas também contribuir com a Política Nacional de Mudanças Climáticas (Lei nº 12.187/09 e Decreto nº 7.390/10).

O Sistema Carbono Zero mostrou-se eficiente no diagnóstico inicial do balanço de GEE em propriedades rurais, podendo ser utilizado para aprimorar os inventários nacionais de GEE no âmbito rural bem como auxiliar o produtor rural na redução das emissões de GEE e obtenção de créditos financeiros rurais através de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que consideram a fixação de carbono, e também por meio de programas governamentais como o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono).

Paralelo a isso, o SCZ pode colaborar na melhor gestão dos recursos ambientais e produtivos da propriedade rural, gerando não apenas diminuição das emissões de GEE, mas também a possibilidade de redução dos custos. Como alguns padrões de certificação de sustentabilidade ambiental ligados à produção agrícola possuem critérios que levam em consideração práticas de baixa emissão de carbono, o SCZ pode servir de ferramenta para obtenção e manutenção destas certificações.

Por fim, recomenda-se o uso do sistema de cálculo de balanço de GEE como ferramenta de pesquisa e extensão no campo e como norteador de políticas e iniciativas de baixa emissão de carbono na área rural.

Entretanto, devido à heterogeneidade de atividades, manejo e características físicas e bióticas das propriedades, pesquisas sobre o tema devem continuar sendo realizadas a fim de aprimorar, de forma contínua, o sistema.

## APÊNDICE A

Quadro A – Estoque e incremento médio anual de carbono em áreas de reflorestamento localizadas em Floresta Estacional Semidecidual por diferentes estudos

<b>Local</b>	<b>Idade do plantio (anos)</b>	<b>Estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Incremento médio de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Autor</b>
Sul do Brasil	3	3,63	1,21	Britez et al. (2006)
Sul do Brasil	6	11,16	1,86	Britez et al. (2006)
Sul do Brasil	11	32,01	2,91	Britez et al. (2006)
Sul do Brasil	22	77,44	3,52	Britez et al. (2006)
Vale do Paranapanema (SP)	1 - 28	0,6 - 149	5,2	Melo e Durigan (2006)
MG	17	55,40	3,30	Ferreira (2009)
MG	17	50,00	2,90	Ferreira (2009)
MG	16	23,60	1,5	Ferreira (2009)
SP	16	33,60	2,1	Ferreira (2009)
SP	15	78,30	5,2	Ferreira (2009)
MG	15	29,70	2,0	Ferreira (2009)
MG	15	82,00	5,5	Ferreira (2009)
MG	13	68,00	5,2	Ferreira (2009)

Continua...

Quadro A, Cont

<b>Local</b>	<b>Idade do plantio (anos)</b>	<b>Estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Incremento médio de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Autor</b>
SP	12	20,5	1,7	Ferreira (2009)
SP	12	61,3	5,1	Ferreira (2009)
SP	11	33,8	3,1	Ferreira (2009)
SP	10	45,6	4,6	Ferreira (2009)
SP	10	86,3	8,6	Ferreira (2009)
SP	9	72,6	8,1	Ferreira (2009)
SP	9	40,9	4,5	Ferreira (2009)
SP	8	29,8	3,7	Ferreira (2009)
SP	7	20,7	3,0	Ferreira (2009)
MG	7	47,8	6,8	Ferreira (2009)
SP	6	8,6	1,4	Ferreira (2009)
SP	4	3,7	0,9	Ferreira (2009)
Bacia do Rio Tietê (SP)	7	25,95	3,71	Lacerda et al, (2009)
Bacia do Rio Tietê (SP)	5,5	14,61	2,66	Lacerda et al, (2009)
Reservatório de Barra Bonita (SP)	6	10,4	1,21	Ferez (2010)

Continua...

Quadro A, Cont

<b>Local</b>	<b>Idade do plantio (anos)</b>	<b>Estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Incremento médio de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Autor</b>
Reservatório de Barra Bonita (SP)	6	23,7	3,43	Ferez (2010)
Botucatu (SP)	12	37,5	3,12	Nogueira Junior (2010)
Botucatu (SP)	12	52	4,33	Nogueira Junior (2010)
Rio Claro (SP)	8	34,43	4,30	Preiskorn (2011)
Rio Claro (SP)	23	50,52	2,20	Preiskorn (2011)
Paragominas (PA)	15	41,02	2,73	Nunes (2011)
Paragominas (PA)	20	30,58	1,53	Nunes (2011)
Cachoeiras de Macacu (RJ)	3	13,13	4,38	Azevedo (2012)
Cachoeiras de Macacu (RJ)	5	14,77	2,95	Azevedo (2012)
Cachoeiras de Macacu (RJ)	7	21,92	3,13	Azevedo (2012)
Bacia do Rio Tietê (SP)	20	19,96	1,0	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	16	23,10	1,44	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	15	17,90	1,19	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	14	17,85	1,28	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	13	16,15	1,24	Stucchi (2013)

Continua...



Quadro A, Cont

<b>Local</b>	<b>Idade do plantio (anos)</b>	<b>Estoque de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Incremento médio de carbono (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Autor</b>
Bacia do Rio Tietê (SP)	12	8,64	0,72	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	7	12,29	1,76	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	6	8,85	1,48	Stucchi (2013)
Bacia do Rio Tietê (SP)	4	4,42	1,11	Stucchi (2013)
Camargos/Itutinga (MG) – área degradada	19	33,52	1,76	Faria (2013)
Camargos/Itutinga (MG) – área perturbada	19	47,43	2,50	Faria (2013)
Camargos/Itutinga (MG) – área conservada	19	42,25	2,22	Faria (2013)
Aimorés (MG)	3-13	39,90	3,17	Este estudo

## APÊNDICE B

Quadro B – Estoque de carbono acima e abaixo do solo em diferentes tipologias florestais, segundo classificação do IBGE

Tipologia florestal	Carbono acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )			Carbono abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )		
	Valor inferior	Média	Valor superior	Valor inferior	Média	Valor superior
Floresta Ombrófila Densa	37,19	120,54	187,76	11,16	18,02	24,38
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	59,97	121,75	168,12	15,59	24,61	33,62
Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas	56,43	105,34	175,62	11,29	23,21	35,12
Floresta Ombrófila Densa Montana	52,45	92,78	174,37	10,49	22,68	34,87
Floresta Ombrófila Densa Submontana	59,74	68,10	76,45	11,95	13,62	15,29
Floresta Ombrófila Aberta	53,64	77,44	101,24	16,09	13,94	20,25
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	74,50	100,35	213,00	22,35	32,11	42,60
Floresta Ombrófila Mista	65,06	121,04	175,95	11,71	20,58	35,19
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	56,91	80,8	108,47	5,98	14,54	24,95
Floresta Ombrófila Mista Montana	26,36	78,35	131,94	5,80	21,94	30,35
Floresta Estacional Semidecidual	35,87	81,30	178,99	7,89	22,22	34,01
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	61,00	102,08	141,16	10,98	18,19	25,41

Continua...

Quadro B, Cont

Tipologia florestal	Carbono acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )			Carbono abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )		
	Valor inferior	Média	Valor superior	Valor inferior	Média	Valor superior
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial das Terras Baixas	16,78	31,13	48,67	4,03	16,64	29,25
Floresta Estacional Semidecidual Montana	29,75	59,35	90,01	7,14	18,90	37,12
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	38,50	93,20	147,89	9,24	22,37	31,06
Floresta Estacional Decidual	38,10	42,04	65,40	13,50	15,30	17,10
Campinarana	79,8	101,46	123,11	-	-	-
Campinarana Arborizada	-	33,66	-	-	-	-
Campinarana Arbustiva	-	7,48	-	-	-	-
Campinarana Florestada	90,27	100,83	111,39	-	-	-
Campinarana gramíneo-lenhosa	-	3,63	-	-	-	-
Savana Florestada	9,90	19,04	31,78	18,20	21,84	25,48
Savana Arborizada	3,71	9,08	29,35	22,38	35,66	74,90
Savana Parque	3,30	4,07	5,00	-	15,09	-
Savana Gramíneo-lenhosa	1,83	1,97	2,10	-	7,63	-

Continua...

Quadro B, Cont

Tipologia florestal	Carbono acima do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )			Carbono abaixo do solo (Mg.ha <sup>-1</sup> )		
	Valor inferior	Média	Valor superior	Valor inferior	Média	Valor superior
Savana-Estépica	-	23,06	-	-	6,05	-
Savana-Estépica Arborizada	-	20,30	-	-	-	-
Savana-Estépica Parque	7,80	70,76	124,70	-	-	-
Estepe Parque	10,06	10,88	11,70	-	24,86	-
Estepe Gramíneo-lenhosa	0,79	2,45	4,51	0,77	3,12	7,66
Vegetação com influência Marinha	53,77	70,03	95,53	-	-	-
Vegetação com influência Fluvio-marinha Arbórea	49,71	62,32	74,93	-	-	-

## APÊNDICE C

Tabela C – Estoque e incremento de carbono em plantios de eucalipto sob diferentes espaçamentos e locais no Brasil

Espécie	Local	Espaçamento (m)	Idade (ano)	Estoque de carbono (MgC.ha <sup>-1</sup> )				MgC (ha.ano <sup>-1</sup> )	Fonte
				AGB	BGB	Serapilheira	Solo		
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	1,0	6,29	-	-	-	6,29	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	3 x 2	1,7	4,92	-	-	35,0	2,89	Wink et al. (2013)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	2,0	15,96	-	-	-	7,98	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	2,0	13,34	2,53	4,07	-	9,97	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	1,5x1,5	2,0	10,96	1,58	1,90	-	6,27	Schumacher et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	3,0	27,75	-	-	-	9,25	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	3,0	22,20	4,17	5,39	-	10,59	Gatto et al. (2011)

Continua...

Tabela C, Cont

<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	3 x 1,5	3,7	13,18	-	-	30,0	3,56	Wink et al. (2013)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	4,0	34,24	-	-	-	8,56	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	4,0	31,76	5,90	6,62	-	11,07	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	1,5x1,5	4,0	18,30	2,64	2,81	-	5,22	Schumacher et al. (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x0,5	4,0	55,52	-	-	-	13,88	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1	4,0	45,80	-	-	-	11,45	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1,5	4,0	44,68	-	-	-	11,17	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x2	4,0	40,76	-	-	-	10,19	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x3	4,0	35,32	-	-	-	8,83	Rocha (2011)

Continua...

Tabela C, Cont

<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	5,0	38,25	-	-	-	7,65	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	5,0	42,00	7,72	7,73	-	11,49	Gatto et al. (2011)
<i>E. grandis</i>	MG	3 x 2	5,0	72,50	-	-	-	14,59	Silva (2007)
<i>E. camaldulensis</i> <i>x E. grandis</i>	MG	3x0,5	5,0	59,70	-	-	-	11,94	Rocha (2011)
<i>E. camaldulensis</i> <i>x E. grandis</i>	MG	3x1	5,0	55,70	-	-	-	11,14	Rocha (2011)
<i>E. camaldulensis</i> <i>x E. grandis</i>	MG	3x1,5	5,0	61,35	-	-	-	12,27	Rocha (2011)
<i>E. camaldulensis</i> <i>x E. grandis</i>	MG	3x2	5,0	46,85	-	-	-	9,37	Rocha (2011)
<i>E. camaldulensis</i> <i>x E. grandis</i>	MG	3x3	5,0	48,35	-	-	-	9,67	Rocha (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	6,0	63,60	-	-	-	10,60	Britez et al. (2006)
<i>E. grandis</i>	MG	3 x 2	6,0	59,80	-	-	-	9,96	Silva (2007)
<i>E. grandis</i>	MG	3 x 2	6,0	71,13	14,71	8,72	-	11,85	Paixão (2004)

Continua...

Tabela C, Cont

<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	1,5x1,5	6,0	80,71	9,84	5,50	-	15,09	Schumacher et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	6,0	52,93	9,61	8,67	-	11,87	Gatto et al. (2011)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	63,96	-	-	-	10,66	Santos et al. (2012)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	55,62	-	-	-	9,27	Santos et al. (2012)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	61,00	-	-	-	10,07	Santos et al. (2012)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	48,00	-	-	-	8,02	Santos et al. (2012)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	55,80	-	-	-	9,29	Santos et al. (2012)
<i>E.urophylla</i>	MG	3x3	6,0	43,08	-	-	-	7,18	Santos et al. (2012)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x0,5	6,4	65,98	-	-	-	10,31	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1	6,4	63,81	-	-	-	9,97	Rocha (2011)

Continua...



Tabela C, Cont

<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1,5	6,4	59,78	-	-	-	9,34	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x2	6,4	59,65	-	-	-	9,32	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x3	6,4	55,42	-	-	-	8,66	Rocha (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	7,0	48,02	-	-	-	6,86	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	7,0	64,55	11,58	9,39	-	12,22	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	ES	3 x 2	7,0	64,13	12,82	9,75	-	12,38	Reis et al. (1994)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x0,5	7,0	63,98	-	-	-	9,14	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1	7,0	68,11	-	-	-	9,73	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x1,5	7,0	71,00	-	-	-	10,01	Rocha (2011)
<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x2	7,0	65,24	-	-	-	9,32	Rocha (2011)

Continua...

Tabela C, Cont

<i>E.camaldulensis</i> <i>x E.grandis</i>	MG	3x3	7,0	60,27	-	-	-	8,61	Rocha (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	8,0	78,40	-	-	-	9,80	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	8,0	76,84	13,61	9,86	-	12,54	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	1,5x1,5	8,0	97,65	11,83	5,77	-	13,68	Schumacher et al. (2011)
<i>E.grandis</i>	MG	3 x 2	8,0	46,00	-	-	-	5,75	Silva (2007)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	9,0	109,62	-	-	-	12,18	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	9,0	89,83	15,69	10,00	-	12,84	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	10,0	80,40	-	-	-	8,04	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	MG	3x2	10,0	103,49	17,83	9,78	-	13,11	Gatto et al. (2011)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Sul do Brasil	3x2	>10,0	100,20	-	-	-	4,42	Britez et al. (2006)
<i>Eucalyptus spp.</i>	RS	3 x 2	>10,0	58,64	-	-	22,0	2,93	Wink et al. (2013)

APÊNDICE D

Tabela D – Estoque e Incremento Médio Anual (IMA) de carbono em sistemas silvipastoris e agrissilvipastoris no Brasil

Sistema	Município/ Região	Idade (anos)	Árvores por ha	Estoque de carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )						IMA carbono MgC(ha.ano <sup>-1</sup> )		Referências
				AGB	BGB	Serapilheira	Pastagem	Solo	Total			
<i>E.urophylla</i> x <i>E.grandis</i>	Porto Firme/MG	2,5	155	5,81	1,79	-	-	1,06	8,66	3,46	Lopes (2013)	
	Viçosa/MG	2,7	352	8,72	-	-	1,36	-	10,08	3,37	Castro Neto (2013)	
Clone <i>(E.urophylla</i> x <i>E.grandis)</i> + <i>B.decumbens</i>	Viçosa/MG	2,7	1.031	22,53	-	-	3,33	-	25,86	8,45	Castro Neto (2013)	
	Viçosa/MG	3,7	333	11,49	-	-	3,40	-	14,89	3,00	Castro Neto (2013)	
	Viçosa/MG	4,7	333	36,03	-	-	-	-	36,03	6,56	Villanova (2014)	
	Viçosa/MG	5,7	333	37,64	-	-	-	-	37,64	5,77	Villanova (2014)	

Continua...

Tabela D, Cont

Sistema	Município/ Região	Idade (anos)	Árvores por ha	Estoque de carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )						IMA carbono MgC(ha.ano <sup>-1</sup> )	Referências
				AGB	BGB	Serapilheira	Pastagem	Solo	Total		
<b>Clone</b>	Viçosa/MG	2,7	389	9,82	-	-	2,75	-	12,57	3,68	Castro Neto (2013)
<b>(<i>E.urophylla</i> x <i>E.grandis</i>) +</b>	Viçosa/MG	3,7	369	13,58	-	-	4,28	-	17,86	3,81	Castro Neto (2013)
<b><i>B.decumbens</i> + feijão</b>	Viçosa/MG	4,7	369	53,95	-	-	-	-	53,95	9,65	Villanova (2014)
	Viçosa/MG	5,7	369	48,01	-	-	-	-	48,01	7,56	Villanova (2014)
<b>Clone</b>	Viçosa/MG	4,7	394	48,90	-	-	2,47	-	51,37	13,04	Castro Neto (2013)
<b>(<i>E.urophylla</i> x <i>E.grandis</i>) + <i>B.decumbens</i> + milho</b>	Viçosa/MG	6,7	394	78,14	-	-	-	-	78,14	11,99	Villanova (2014)

Continua...

Tabela D, Cont

Sistema	Município/ Região	Idade (anos)	Árvores por ha	Estoque de carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )						IMA carbono MgC(ha.ano <sup>-1</sup> )	Referências
				AGB	BGB	Serapilheira	Pastagem	Solo	Total		
<b>Clone</b> <i>(E.urophylla x E.grandis) + B.decumbens</i>	Porto Firme /MG	8,0	394	36,68	-	-	-	-	36,68	4,59	Este estudo
	Porto Firme /MG	8,0	455	41,13	-	-	-	-	41,13	5,14	Este estudo
	Porto Firme /MG	8,0	420	51,72	-	-	-	-	51,72	6,46	Este estudo
<b>Clone</b> <i>(E.urophylla x E.grandis) + B.decumbens</i>	Porto Firme /MG	8,0	362	43,49	-	-	-	-	43,49	5,44	Este estudo
	Porto Firme /MG	5,0	408	24,68	-	-	-	-	24,68	4,94	Este estudo
	Porto Firme /MG	8,0	362	24,81	-	-	-	-	24,81	3,10	Este estudo

Continua...

Tabela D, Cont

Sistema	Município/ Região	Idade (anos)	Árvores por ha	Estoque de carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )						IMA carbono MgC(ha.ano <sup>-1</sup> )	Referências
				AGB	BGB	Serapilheira	Pastagem	Solo	Total		
<i>Eucalyptus dunnii</i> + <i>Cynodon dactylon</i>	Nova Laranjeiras/ PR	6,0	134	21,43	-	-	-	-	21,43	3,57	Guarienti (2012)
<b>Eucalipto + Acácia</b>	Zona da Mata	10,0	105	14,87	-	-	0,58	-	14,87	1,43	Müller et al, (2009)
<i>Eucalyptus spp.</i>	Paracatu/MG	11,0	250	63,55	6,23	10,89	3,70	-	84,37	5,78	Tsukamoto Filho (2004)
<i>E.grandis</i>	Alegrete/RS	21,0	500	71,50	-	-	-	-	71,50	3,40	Oliveira (2008)
<i>E.grandis</i>	Alegrete/RS	21,0	1,000	80,20	-	-	-	-	80,20	3,82	Oliveira (2008)
<i>Pinus elliottii</i>	Alegrete/RS	21,0	500	63,10	-	-	-	-	63,10	3,00	Oliveira (2008)

Continua...

Tabela D, Cont

Sistema	Município/ Região	Idade (anos)	Árvores por ha	Estoque de carbono (Mg.ha <sup>-1</sup> )						IMA carbono MgC(ha.ano <sup>-1</sup> )	Referências
				AGB	BGB	Serapilheira	Pastagem	Solo	Total		
<i>Pinus elliottii</i>	Alegrete/RS	21,0	1,000	70,60	-	-	-	-	70,60	3,36	Oliveira (2008)
<i>Pinus elliottii</i>	Nova Odessa/SP	30,0	200	66,01	23,57	4,19	3,29	97,24	194,30	2,20	Gutmanis (2004)
<i>Pinus elliottii</i>	Nova Odessa/SP	30,0	400	119,70	40,78	5,81	2,67	89,37	258,33	3,99	Gutmanis (2004)

AGB – Biomassa Acima do Solo; BGB – Biomassa Abaixo do Solo

