

BRUNO LEÃO SAID SCETTINI

**BALANÇO DE CARBONO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
SILVIPASTORIL COM PECUÁRIA LEITEIRA, EM VISCONDE DO RIO
BRANCO, MG**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

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

T

S327b Schettini, Bruno Leão Said, 1990-
2017 Balanço de carbono e viabilidade econômica de um sistema
silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Brando,
MG / Bruno Leão Said Schettini. – Viçosa, MG, 2017.
x, 65f. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Silvio Nolasco de Oliveira Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Agrossilvicultura - Visconde do Rio Branco (MG).
 2. Agricultura - Sequestro de carbono. 3. Mercado de emissão de carbono. 4. Mudanças climáticas - Política governamental.
- I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal.
II. Título.

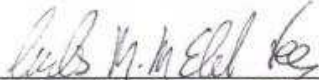
CDO adapt. CDD 22 ed. 634.99

BRUNO LEÃO SAID SCETTINI

**BALANÇO DE CARBONO E VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA
SILVIPASTORIL COM PECUÁRIA LEITEIRA, EM VISCONDE DO RIO
BRANCO, MG**

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


APROVADA: 24 de fevereiro de 2017.



Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres
(Coorientador)



Laércio Antônio Gonçalves Jacovine
(Coorientador)



Lino Roberto Ferreira



Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais Cláudio e Cândida, pelo amor com o qual sempre fui criado e, apesar da distância e da saudade, por sempre me incentivarem e apoiarem a buscar o melhor.

À Ana Cláudia, minha irmã, por sempre estar comigo nos momentos alegres e também nos difíceis, sendo meu ombro amigo nessa caminhada.

À Juliana, pela compreensão, amor, amizade, e por sempre me incentivar, estando sempre ao meu lado.

Às minhas tias Ina (*in memorian*), Judi, Keet, Maria de Fátima e Pita pelo carinho e pelas orações – vocês são exemplos de fé, força e sabedoria. Obrigado pelo apoio e pela preocupação ao longo deste tempo fora de Iguatama.

À Silvinha e Sãozinha, pelo acolhimento, orações e torcida, me tratando sempre com muito carinho.

Ao Professor Sívio Nolasco de Oliveira Neto, pelo apoio ao estudo e orientação, pelas críticas, sugestões e pela colaboração ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela amizade e por ser exemplo a ser seguido. De modo especial, pela confiança, atenção, pelas oportunidades e pelo incentivo.

Ao Professor Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres, por suas valiosas considerações, incentivo e apoio durante a condução do estudo. Por ser sempre um amigo.

Ao Engenheiro Agrônomo Rogério Jacinto Gomes e ao Professor Lino Roberto Ferreira, coordenadores do Circuito Zona da Mata de Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta (Parceria EMATER-MG / Universidade Federal de Viçosa), e ao produtor rural Raúl Cardoso da Silva Filho, por disponibilizar a área e as informações para condução da pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), pela estrutura oferecida em prol do desenvolvimento do trabalho e pela formação destacada de seus estudantes. A todos os funcionários da Ufv e do DEF, pelo auxílio e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal e aos seus professores, por proporcionarem os ensinamentos adquiridos. De modo particular, aos funcionários Alexandre e Dilson, pela atenção e por não pouparem esforços em me auxiliar desde o processo de seleção até a conclusão deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao Grupo de Estudos em Economia Ambiental (GEEA), pelos ensinamentos e oportunidade de receber críticas e sugestões. A todos os seus membros, pela amizade, pelo carinho, por tornarem os momentos de trabalho mais alegres e pela colaboração. Em especial, aos amigos Paulo Villanova, Samuel José, Eliana Boaventura, Lauana, Vicente, Paulinha, Abel, Michel e Rômulo, pelo auxílio e sugestões, que tanto contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

Aos meus amigos Caio Eleto, Caio Raggi, Humberto, Vitim, Lázaro, Juninho, Alberto, e Gogs por todo apoio ao longo dessa caminhada.

Aos companheiros do Boca, Filipe, Arthur, Vítão, Janaúba, Brenim, Pedrim, Gazão, Vickad e Jupops por toda amizade e incentivo.

Aos amigos da Engenharia Florestal 2009, em especial à Amana, por estar presente nessa caminhada.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão de mais essa etapa em minha vida.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

BRUNO LEÃO SAID SCHETTINI, filho de Cláudio Márcio Said Schettini e Cândida Muniz Leão Said Schettini, nasceu em 14 de maio de 1990, na cidade de Formiga, Minas Gerais.

Em 2007, concluiu o Ensino Médio no Colégio Cooperativa Educacional de Iguatama, em Iguatama, Minas Gerais.

Em 2009, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, concluindo-o em janeiro de 2015.

Em março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVO GERAL.....	4
3. REFERÊNCIAS	5
CAPÍTULO 1.....	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO GERAL.....	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Caracterização do Local e Sistema de Estudo	11
3.2 Determinação do Estoque de Carbono no Componente Arbóreo	12
3.2.1 Inventário Florestal.....	12
3.2.2 Estimativa Volumétrica	13
3.2.3 Determinação da Densidade da Madeira e Estimativa de Biomassa.....	14
3.2.4 Determinação do Estoque de Carbono no Componente Arbóreo	15
3.2.5 Determinação do Estoque de Carbono na Pastagem.....	16
3.3 Determinação das Emissões de Gases de Efeito Estufa.....	17
3.3.1 Pecuária	18
3.3.1.1 Fermentação Entérica	18
3.3.1.2 Manejo de Dejetos Animais	19
3.3.2 Energia Elétrica	19
3.3.3 Consumo de Combustíveis	20
3.3.4 Fertilização Nitrogenada	21
3.3.5 Calcário.....	22
3.4 Balanço de Carbono	23
3.5 Emissões por Unidade Produzida	23
4. RESULTADOS	24
4.1 Caracterização do Componente Arbóreo do Sistema Silvopastoril	24
4.1.1 Relação Hipsométrica.....	24
4.1.2 Equação Volumétrica	25
4.1.3 Avaliação da Densidade da Madeira	25

4.2	Estoque de Carbono no Componente Arbóreo	26
4.3	Estoque de Carbono na Pastagem	26
4.4	Emissões de Gases de Efeito Estufa	27
4.5	Balço de Carbono	28
5.	DISCUSSÕES	31
6.	CONCLUSÕES	34
7.	REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 2.....		39
1.	INTRODUÇÃO	40
2.	OBJETIVO GERAL.....	41
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
3.	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1	Caracterização do Local de Estudo	42
3.2	Composição dos Custos e Receitas	43
3.3	Cenários	44
3.4	Análise Econômica	45
3.4.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	45
3.4.2	Razão Benefício Custo (B/C)	46
3.4.3	Valor Periódico Equivalente (VPE)	46
3.4.4	Taxa Interna de Retorno (TIR)	47
3.5	Análise de Sensibilidade	47
4.	RESULTADOS	48
4.1	Cenário 1 (Leite + Pastagem sem Árvores)	48
4.2	Cenário 2 (Leite + Lenha)	49
4.3	Cenário 3 (Leite + Lenha + Serraria)	50
4.4	Cenário 4 (Lenha + Aluguel da Pastagem)	51
4.5	Análise de Sensibilidade	52
5.	DISCUSSÕES	53
6.	CONCLUSÕES	56
7.	REFERÊNCIAS	57
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
9.	ANEXOS	61

RESUMO

SCHETTINI, Bruno Leão Said, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Balanco de carbono e viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Branco, MG.** Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto. Coorientadores: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine e Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

O Brasil é um dos países que assinaram o Acordo de Paris e assumiu o compromisso, por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC), de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37%, em relação aos níveis de 2005, até 2025. Para auxiliar no cumprimento dessas metas foi criada a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC). Entre outras ações, a PNMC incentiva a implantação de 5 milhões de hectares de sistema agroflorestais no país, com mitigação estimada de 18-22 GgCO_{2eq}. O incremento estimado ao longo dos 10 anos, no melhor cenário, é de 0,44 MgCO_{2eq} ha⁻¹ ano⁻¹, porém acredita-se que o potencial de mitigação destes sistemas seja superior. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o balanço de carbono e a viabilidade econômica de um sistema silvipastoril (SSP) em uma propriedade rural em Visconde do Rio Branco, MG. O manejo animal praticado no sistema é semi-intensivo, com alimentação realizada no pasto e suplementação no cocho. O componente arbóreo do sistema silvipastoril é composto por um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado em janeiro de 2011, no espaçamento de 10 x 3 m, e a pastagem é formada por *Brachiaria decumbes*. Para quantificar o volume de madeira do povoamento foi realizado inventário florestal do tipo censo para *dap* (diâmetro a 1,3 m de altura) e selecionadas árvores amostras para relação hipsométrica de altura. Nessas mesmas árvores foi feita tradagem para coleta de amostras para determinação da densidade básica da madeira, para assim estimar o acúmulo de biomassa. A biomassa do fuste foi obtida pela multiplicação do volume com casca pela densidade básica da madeira, para as respectivas classes diamétricas. Para estimar a biomassa nos demais compartimentos da árvore foram utilizados os percentuais, em relação ao tronco, de 18,11 % para raízes, 9,40 % para galhos e 2,91 % para folhas. Também foi calculado o estoque de carbono na pastagem, porém o mesmo não entrou no balanço pois já estava estabelecida anteriormente à implantação do SSP. Para realização do inventário de emissões de gases de efeito estufa no sistema foram considerados fontes potenciais de todas atividades relacionadas ao SSP, conforme metodologias desenvolvidas pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - 2006. O estoque de carbono no componente arbóreo do SSP, aos 4,2 anos, foi de 6,7757 Mg ha⁻¹; sendo estimados valores de 1,2271,

0,6369, e 0,1972 Mg ha⁻¹ para raízes, galhos e folhas, respectivamente. Assim, o Incremento Médio Anual foi 7,6309 ha⁻¹ ano⁻¹ de MgCO_{2eq}, valor superior ao considerado na iNDC do Brasil. Na avaliação das emissões totais, por ano, observou-se que em 2011 as emissões foram menores (0,7882 MgCO_{2eq} ha⁻¹), devido à ausência do componente animal. Nos demais anos os valores foram próximos, com maior valor em 2014 (4,2107 MgCO_{2eq} ha⁻¹), o que resultou no balanço de carbono positivo do sistema silvipastoril. O excedente em carbono do componente arbóreo também foi suficiente para neutralizar as emissões de GEE do cultivo de milho utilizado na alimentação suplementar dos animais. As emissões foram de 1,8153 MgCO_{2eq} animais ha⁻¹ e por unidade produtiva foram de 0,00010 MgCO_{2eq} L⁻¹. Para análise da viabilidade econômica foram considerados diferentes cenários (1 - produção de leite com pastagem em sistema tradicional, até o quarto ano; 2 - produção de leite em SSP e de madeira para lenha, até o quarto ano; 3 - produção de leite em SSP e produção de madeira para lenha (50%) e serraria (50%), até o décimo segundo ano; e 4 - aluguel da pastagem e produção de madeira para lenha (50%) e serraria (50%), no décimo segundo ano). Os parâmetros avaliados foram Valor Presente Líquido (VPL), Razão Benefício Custo (B/C), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Periódico Equivalente (VPE). Para essas análises foi considerada uma taxa de desconto de 10% ao ano. Foram realizadas análises de sensibilidade nos cenários inviáveis economicamente, visando identificar custos e receitas que mais afetam a viabilidade econômica dos cenários. As receitas da venda da madeira no ano 12, complementada pelo aluguel da pastagem, indicou maior viabilidade do cenário 4. Os cenários 1 e 2 foram inviáveis economicamente, influenciados pelos custos da produção de leite superiores às receitas na maioria dos anos. O cenário 3, planejado pelo produtor na implantação do SSP, foi economicamente viável, para o horizonte de planejamento de 12 anos. Apesar dos expressivos custos relacionados à produção de leite, a receita de madeira tornou o SSP viável economicamente. Conclui-se que o sistema silvipastoril com pecuária leiteira e madeira destinada para serraria, aos 12 anos, apresenta balanço positivo de gases de efeito estufa e é viável economicamente nas condições de estudo.

ABSTRACT

SCHETTINI, Bruno Leão Said, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Carbon balance and economic viability of a silvopastoral system with dairy cattle raising, in Visconde do Rio Branco, MG.** Advisor: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto. Co-advisors: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine and Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Brazil is one of the countries that signed the Paris Accord and made a commitment, through Nationally Determined Contributions (iNDC), to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 37% from 2005 levels by the year 2025. To help achieve these goals, the National Policy on Climate Change (PNMC) was created. Among other actions, PNMC encourages the implementation of 5 million hectares of agroforestry system in the country, with estimated mitigation of 18-22 GgCO₂ eq. The estimated increment over the 10 years, in the best scenario, is 0.44 MgCO₂eq ha⁻¹ year⁻¹, but we believe that the mitigation potential is superior. In this context, the objective of our study was to evaluate the carbon balance and economic viability of a silvopastoral system (SSP). We conducted the study in a rural property in Visconde do Rio Branco, MG, whose main activity is cattle raising. The animal management practiced in the system in question is semi-intensive, with pasture feeding and supplementation in the trough. The arboreal component of the silvipastoral system is composed of a hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, planted in January 2011, at a spacing of 10 x 3 m, and the pasture is formed by *Brachiaria decumbes*. In order to quantify the population size, we carried out forest inventory of the census type for dap (diameter at breast height) and selected trees for height hypsometric relation. In these same trees we made the tradition to determine the basic density of the wood, in order to estimate the accumulation of biomass. The biomass of the stem was obtained by multiplying the volume with bark by the basic density of the wood, of the respective diameter class. To estimate the biomass in the other compartments of the tree we used the percentages, in relation to the trunk, of 18.11% for roots, 9.40% for branches and 2.91% for leaves. We also calculated the carbon stock in the pasture, but it did not enter the balance, because its presence was not due to the implantation of the silvopastoral system. For the inventory of greenhouse gas emissions in the system we consider nitrogen fertilization, enteric fermentation, animal waste management, fossil fuels and electric energy, according to the methodologies developed by IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). The carbon stock in the tree component of the SSP, at 4.25 years, was 6.7757 Mg ha⁻¹; being estimated values of 1.2271, 0.6369, and 0.1972 Mg ha⁻¹ for roots, branches and leaves respectively. Thus, the Annual Average

Increase was $\text{MgCO}_{2\text{eq}} 7.6309 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, higher than that considered in Brazil's iNDC. In the evaluation of total emissions, per year, we observed that in 2011 emissions were lower ($0.7882 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$), due to the absence of the animal component. In other years values were close, with the peak in 2014 ($4.2107 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$), which resulted in the positive carbon balance of the silvopastoral system. The carbon surplus of the tree component was sufficient to neutralize GHG emissions from corn planting used in supplementary feeding of animals. The emissions were $1.8153 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ animals}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ and per unit of production were $0.00010 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ L}^{-1}$. In order to analyze the economic viability, we consider different scenarios (1-milk production with pasture in traditional system, up to the fourth year, 2-Milk production in SSP and wood for wood until the fourth year; and wood production for firewood (50%) and sawmill (50%) by the twelfth year; 4-Rent of pasture and wood production for firewood (50%) and sawmill (50%) by the twelfth year). The parameters that we evaluated were Net Present Value (NPV), Benefit Cost Ratio (B / C), Internal Rate of Return (IRR) and Equivalent Period Value. For these analyzes we used the discount rate of 10% p.y. Sensitivity analysis was done in those scenarios that were economically unviable. The economic viability of scenario 4, due to revenues from the sale of wood in year 12 and also from the pasture rental, shows that wood production is viable in the region. Scenarios 1 and 2 were economically unviable, influenced by the costs of milk production higher than the revenues in most years. Scenario 3, planned by the producer in the implementation of the SSP, was economically viable for the 12-year planning horizon. Despite the significant costs related to milk production, wood revenue made the SSP economically viable. We conclude that the silvopastoral system with dairy cattle and timber for sawing, at 12 years, presents a positive balance of greenhouse gases and is economically feasible under the study conditions.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis e desmatamento, causam mudanças climáticas em escala global (CÂMARA et al., 2011; BILGEN et al., 2015). Por mais de duas décadas, ocorrem negociações internacionais relacionadas ao clima, porém os resultados ainda são considerados modestos em relação à tentativa de amenizar as emissões de GEE (LUCON et al., 2013).

Na Conferência das Partes (COP) 15, realizada em Copenhague na Dinamarca, foram estabelecidas metas de reduções nas emissões, tanto para países desenvolvidos quanto para países em desenvolvimento (PETERSON et al., 2011). Como parte integrante do acordo, o Brasil assumiu o compromisso voluntário de reduzir, até o ano 2020, as suas emissões de GEE em 36,1 a 38,9% em relação aos níveis de 2005 (VALE, 2016).

Na COP 21, foi elaborado o Acordo de Paris, com a finalidade de limitar o aumento da temperatura terrestre em até 2° C, em relação aos níveis pré-industriais (UNFCC, 2015). Comparado com outros acordos propostos em outras conferências, como por exemplo, o Protocolo de Quioto, proposto na COP 3 no Japão, o Acordo de Paris traz uma mudança importante em relação ao processo político, já que os países que o assinaram precisam apresentar suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC). As iNDC são as tecnologias e metas que as nações pretendem implementar para redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (VANDYCK et al., 2016).

O Brasil é um dos países que assinaram o Acordo de Paris, com a iNDC de reduzir as emissões em 37%, em relação aos níveis de 2005, até o ano de 2025. Além dessa meta, foi proposta uma contribuição subsequente de redução em 43%, também em relação aos níveis de 2005, até o ano de 2030 (BRASIL, 2015).

Para auxiliar o cumprimento dessas metas foi elaborada a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (LORIS et al., 2014), que tem por objetivo incentivar a

adoção de sistemas de produção mais sustentáveis (ELZEN et al., 2011). Como instrumento da PNMC foi criado o Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que oferece linhas de crédito especiais para agricultores e preconiza práticas agrícolas de baixo carbono, tais como a recuperação de pastagens degradadas, sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, florestas plantadas e sistemas agroflorestais (SAFs) (MAPA, 2011).

Os SAFs são definidos como sistemas de uso da terra que envolvem a utilização de árvores, entre outras plantas perenes lenhosas, com cultivos agrícolas, pastagens e ou animais, visando benefícios ambientais e econômicos entre seus componentes (KUMAR & NAIR, 2011), além de funcionarem como potenciais sumidouros de carbono (TORRES et al., 2014).

A meta do Governo Brasileiro para SAFs é de ampliação de 5 milhões de hectares, com potencial de mitigação entre 18-22 GgCO₂eq, até o ano de 2020 (BRASIL, 2015). Estas estimativas, na maioria das vezes, são elaboradas utilizando coeficientes gerais de mitigação, estabelecidos principalmente a nível mundial, sendo necessários estudos que possam gerar estimativas específicas para as diferentes realidades do Brasil, já que as práticas de manejo podem variar entre regiões.

Porém, é necessário ter conhecimento sobre a viabilidade econômica dos sistemas agroflorestais, já que estudos relacionados ao tema (COELHO JÚNIOR et al., 2008; MAGALHÃES et al., 2014; JOAQUIM et al., 2015) apresentaram resultados distintos.

Para incentivar a implantação de SAFs, o Governo Federal, por meio do Programa ABC, implementou uma linha de crédito especial para produtor rural, com taxa de juros de 8,5% ao ano (a.a) e período de carência de 5 anos (BNDES, 2016).

Dessa forma, estudos sobre o balanço de carbono em SAFs são necessários para contribuir na geração de estimativas específicas nesses ambientes, e analisar qual a real

efetividade desses sistemas na remoção de gases de efeito estufa. Associado a isso, é necessário analisar a viabilidade econômica desses sistemas, para gerar informações que possam auxiliar o produtor rural em tomadas de decisões.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o balanço de carbono e a viabilidade econômica de um sistema silvipastoril com pecuária leiteira, em Visconde do Rio Branco, MG.

3. REFERÊNCIAS

- BILGEN, S; SARIKAYA, İ. Exergy for environment, ecology and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 1115-1131, 2015.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento. **Taxa de Juros Programa ABC**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>. Acesso em 06 de dezembro de 2016.
- BRASIL - REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima**. Brasília – DF, 6 p., 2015.
- CÂMARA, G. A. B.; ANDRADE, J. C. S.; FERREIRA, L. E. A.; ROCHA, P. S. Regulatory framework for geological storage of CO₂ in Brazil—analyses and proposal. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 5, n. 4 p. 966-974, 2011.
- COELHO JUNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COIMBRA, L. A. B.; DE SOUZA, A. N. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, n. 4 p. 368-378, 2008.
- ELZEN, M. G. J.; HOF, A. F.; BELTRAN, A. M.; GRASSI, G.; ROELFSEMA, M.; RUIJVEN, B. V.; VLIET, J. V.; VUUREN, D. P. V. The Copenhagen Accord: abatement costs and carbon prices resulting from the submissions. **Environmental Science & Policy**, v. 14, n. 1, p. 28-39, 2011.
- IORIS, A. A. R.; IRIGARAY, C. T.; GIRARD, P. Institutional responses to climate change: opportunities and barriers for adaptation in the Pantanal and the Upper Paraguay River Basin. **Climatic Change**, v. 127, n. 1, p. 139-151, 2014.
- JOAQUIM, M. A.; DE SOUZA, A. N.; DE SOUZA, S. N.; PEREIRA, R. S.; ANGELO, H. Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 439-447, 2015.
- KUMAR, B. M.; NAIR, P. K. R. **Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems**. Gainesville, Springer, 326 p., 2011.
- LUCON, O.; ROMEIRO, V.; PACCA, S. Reflections on the international climate change negotiations: A synthesis of a working group on carbon emission policy and regulation in Brazil. **Energy Policy**, v. 59, p. 938-941, 2013.
- MAGALHÃES, J. G. S.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T.; REGO, L. J. S. Análise econômica de sistemas agroflorestais via uso de equações diferenciais. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 73-79, 2014.
- 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 – DF, 176 p., 2012.

PETERSON, E. B.; SCHLEICH, J.; DUSCHA, V. Environmental and economic effects of the Copenhagen pledges and more ambitious emission reduction targets. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3697-3708, 2011.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015**. 25 p., 2015.

VALE, P. M. The changing climate of climate change economics. **Ecological Economics**, v. 121, p. 12-19, 2016.

VANDYCK, T.; KERAMIDAS, K.; SAVEYN, B.; KITOUS, A.; VRONTISI, Z. A global stocktake of the Paris pledges: Implications for energy systems and economy. **Global Environmental Change**, v. 41, p. 46-63, 2016.

CAPÍTULO 1

BALANÇO DE CARBONO EM UM SISTEMA SILVIPASTORIL COM PECUÁRIA LEITEIRA, EM VISCONDE DO RIO BRANCO, MG

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países membros do Acordo de Paris, com a meta das suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (iNDC) de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37%, em relação aos níveis de 2005, até o ano de 2025. Além desse compromisso, foi proposta uma contribuição subsequente de redução em 43%, também em relação aos níveis de 2005, até o ano de 2030 (BRASIL, 2015).

O setor florestal tem importante função para o cumprimento dessa meta diante a proposta para o fim do desmatamento ilegal da Amazônia, até 2030, e fortalecimento do Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC). Planeja-se o incentivo da implementação de 5 milhões de hectares de Sistemas Agroflorestais (SAFs), com potencial de mitigação entre 18-22 GgCO₂ eq (BRASIL, 2015).

Dentre as modalidades de SAFs estão os sistemas silvipastoris (SSPs), que envolvem a utilização deliberada de árvores com animais e pastagem (NAIR, 2014) e funcionam como potenciais sumidouros de carbono (TORRES et al., 2014). Nesse tipo de sistema, o componente arbóreo pode ser capaz de neutralizar as principais fontes de emissões de GEE oriundas dos animais (WICKE et al., 2013), insumos (VETTER et al., 2017) e da queima de combustível de máquinas agrícolas (CÁRDENAS et al., 2016).

O total das emissões pode ser influenciado diretamente pelo manejo adotado no sistema de produção (SILVA et al, 2017). Quanto mais intensificada for a pecuária praticada, maiores serão as emissões totais do SSP, porém, ao avaliar por unidade produzida, poderão ser menores do que em sistemas extensivos (CUNHA et al., 2016).

Em virtude do constante foco para aumento da produção no setor agrícola, torna-se importante o conhecimento do potencial de neutralização do componente arbóreo de SSP em condições de manejo animal intensificado, para entendimento sobre a relação entre o aumento de produção e as emissões de GEE (VELTMAN et al., 2017). Além

disso, é necessário gerar dados que permitam balizar o potencial de mitigação dos SAFs na iNDC brasileira.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o balanço de carbono em um sistema silvipastoril, com pecuária leiteira semi-intensiva, em Visconde do Rio Branco, MG.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar quais as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa no sistema silvipastoril;

Avaliar a estocagem de carbono pelo sistema silvipastoril;

Avaliar as emissões de gases de efeito estufa, por litro de leite produzido e por animal, no sistema silvipastoril.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local e Sistema de Estudo

O estudo foi conduzido em um SSP (4,76 ha), implantado em janeiro 2011, em uma propriedade rural em Visconde do Rio Branco, MG (20°58'49.23"S e 42°52'59.49"O), na região da zona da mata.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, subtropical com inverno seco e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007). As precipitações ocorrem, principalmente, entre os meses de outubro e março, com médias de 110 mm por mês e o total do ano em torno de 1.373 mm. No mês de junho são observadas as menores temperaturas médias (16,6° C), e no mês de janeiro as temperaturas mais elevadas (23,5° C) (SÁ JUNIOR et al., 2012).

No município de Visconde do Rio Branco predomina o latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, como na maioria da Zona da Mata (PORTUGAL et al., 2010).

O componente arbóreo do sistema silvipastoril é um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado no espaçamento de 10 x 3 m. A pastagem é formada por *Brachiaria decumbes*, já existente no local antes da implantação do SSP. Foi realizada adubação na implantação do eucalipto e de manutenção, 90 dias após o plantio, e aplicação de calcário calcítico (Tabela 1).

Tabela 1: Fertilizantes e respectivas dosagens aplicadas no componente arbóreo e na pastagem no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Fertilizante	Dosagem	Unidade
NPK 06-30-06	0,2	kg cova ⁻¹
NPK 20-00-20	0,2	kg cova ⁻¹
Calcário	1,52	Mg ha ⁻¹

O componente animal, 11 vacas leiteiras (2,31 animais ha⁻¹), foi inserido no início do segundo ano, após o plantio do Eucalipto. Como os animais alternaram sua alimentação entre o cocho e o pasto, o sistema de produção é classificado como semi-intensivo (ADEOTI et al., 2014).

Para este modelo de produção o milho (*Zea mays*) foi cultivado em monocultura (2,1 ha) para produção de silagem e alimentação suplementar dos animais associados ao SSP, sendo realizada fertilização conforme Tabela 2.

Tabela 2: Adubação realizada no cultivo de milho destinado à alimentação suplementar dos animais associados ao sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Fertilizante	Dosagem (Mg ha⁻¹ ano⁻¹)
NPK 8-28-6	0,21
Calcário	2,62

Foi considerada nos cálculos a necessidade de 30 kg dia⁻¹ de alimento por animal, sendo 21 kg dia⁻¹ proveniente da silagem do cultivo de milho e o restante da alimentação realizada no pasto. A produção média de silagem foi de 40 Mg ha⁻¹.

3.2 Determinação do Estoque de Carbono no Componente Arbóreo

O estoque e incremento de carbono foi estimado por meio do inventário florestal, determinação da densidade da madeira, estimativa de biomassa e carbono do sistema, conforme descrito a seguir.

3.2.1 Inventário Florestal

Foi realizado inventário florestal do tipo censo (100 %) em março de 2015, quando todas as árvores tiveram suas circunferências à altura de 1,3 m (*cap*), mensuradas com auxílio de fita métrica.

Os indivíduos foram distribuídos em classes diamétricas com amplitude de 2,5 cm. Foram medidas as alturas de 5 árvores amostra, escolhidas aleatoriamente em cada classe diamétrica, com auxílio do hipsômetro digital Vertex IV®. A partir desses dados, foram estimadas as alturas das demais árvores do povoamento, por meio da seguinte relação hipsométrica:

$$Ht = \beta_0 + dap * \beta_1$$

Em que:

Ht – Altura total do indivíduo, em m;

β_0 – Parâmetro do modelo;

dap – diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm;

β_1 – Parâmetro do modelo.

A verificação da adequação da relação hipsométrica foi realizada a partir da análise do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_2), erro padrão da média ($S_{\bar{y}}$) e análise gráfica de resíduos.

3.2.2 Estimativa Volumétrica

Nas mesmas árvores amostras selecionadas para a realização da relação hipsométrica foi realizada a cubagem rigorosa, pelo método não destrutivo. Para tal, foi utilizado o Pentaprisma de Wheeler, que permite a obtenção de diâmetros em diferentes alturas do tronco.

Foram mensurados os diâmetros com casca nas alturas de 0 m, 0,30 m, 0,70 m, 1,00 m, 1,30 m, e a partir dessa altura, a cada 1 metro até o diâmetro de 6,5 cm (diâmetro mínimo medido pelo Pentaprisma de Wheeler).

A determinação do volume, em cada uma das seções, foi calculada de acordo com a fórmula de Smalian:

$$V_{cc} = \frac{AS_1 + AS_2}{2} * L$$

Em que:

Vcc – Volume com casca, em m³;

AS₁ – Área seccional da parte inferior do tronco, em m²;

AS₂ – Área seccional da parte superior do tronco, em m²;

L – Comprimento do tronco, em m.

O volume das seções com diâmetro inferior a 6,5 cm foi calculado considerando o restante do fuste como um cone, normalmente utilizada quando não é possível mais medições de *dap* (RÉ et al., 2015).

De posse dos dados de diâmetro, altura e volume das árvores amostras, foi ajustada uma equação baseada no modelo de Schumacher e Hall (1933), que é amplamente difundido para estimativas de volume (CAMPOS e LEITE, 2009), conforme a seguir:

$$V_{cc} = \beta_0 * dap^{\beta_1} * Ht^{\beta_2}$$

Em que:

V_{cc} – Volume do fuste com casca, em m³;

β_0 , β_1 e β_2 – parâmetros do modelo;

dap – diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm;

Ht – altura total das árvores amostra, em m.

A verificação da adequação do modelo foi realizada a partir da análise do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_2), erro padrão da média ($S_{\bar{y}}$) e análise gráfica de resíduos.

3.2.3 Determinação da Densidade da Madeira e Estimativa de Biomassa

Para determinar a densidade básica da madeira, foram coletadas 5 amostras de madeira por classe de diâmetro a altura de 1,30 m (*dap*) (SILVA et al., 2016), com o auxílio de um trado manual, que permite a retirada de cilindros de diâmetro conhecido e comprimento variado, de acordo com as características da árvore (Figura 1).



Figura 1: Amostras retiradas com auxílio de um trado manual, para calcular a densidade básica da madeira do componente arbóreo do sistema silvipastoril.

O método utilizado para determinar a densidade básica da madeira foi o de imersão em água, segundo a metodologia ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

A biomassa do fuste foi obtida pela multiplicação do volume com casca pela densidade básica da madeira da respectiva classe diamétrica (NEUMANN et al., 2016). Determinada a biomassa de cada indivíduo arbóreo, os valores foram somados obtendo-se a biomassa total do povoamento.

3.2.4 Determinação do Estoque de Carbono no Componente Arbóreo

O estoque de carbono no fuste das árvores foi obtido pela multiplicação dos valores de biomassa pelo fator 0,47 (IPCC, 2006), conforme a equação:

$$C = B_i * 0,47$$

Em que:

C – estoque de carbono no tronco das árvores, em Mg;

B_i – biomassa do tronco das árvores, em Mg;

0,47 – fator de conversão da biomassa acima do solo em carbono.

Para estimativa do estoque de carbono nos componentes raízes, galhos e folhas, foram utilizadas porcentagens encontradas por Tsukamoto Filho et al. (2004), em sistema

agrossilvipastoril com eucalipto, aos 4 anos de idade, que relacionam o estoque de carbono nesses componentes da árvore com o fuste (Tabela 3).

Tabela 3: Porcentagem de carbono dos demais componentes da árvore em relação ao fuste, em sistema agrossilvipastoril

Componentes da Árvore	Percentual em relação ao fuste (%)
Raízes	18,11
Galhos	9,40
Folhas	2,91

Fonte: Tsukamoto Filho et al. (2004).

3.2.5 Determinação do Estoque de Carbono na Pastagem

Para quantificar o estoque de carbono na pastagem, foram lançados aleatoriamente 30 gabaritos (50 x 50 cm) (Figura 2) entre as linhas de plantio das árvores, para coleta do material vegetal. Para isso considerou-se o teorema do limite central, que indica que quando o número de amostras for ≥ 30 , a distribuição amostral da média tende a distribuição normal (GOMIDE et al, 2005).

Foram realizadas duas coletas de dados, sendo a primeira em outubro de 2015 e a segunda em abril de 2016, visando representar o período pré e pós temporada de chuvas.

Todo o material vegetal vivo contido nos gabaritos foi cortado rente ao solo e pesado. As amostras foram condicionadas em estufas com circulação forçada de ar, a $65 \pm 2^\circ \text{C}$, até estabilização de seu peso.



Figura 2: Gabarito com amostra de pastagem coletada para estimativa de biomassa.

A determinação da biomassa foi realizada por meio do método da proporcionalidade (SOARES et al., 2006), sendo extrapolada para área total. Foi utilizado o fator 0,47 para a obtenção do estoque de carbono (IPCC, 2006).

3.3 Determinação das Emissões de Gases de Efeito Estufa

O dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) são os principais gases de efeito estufa (GUIDOLOTTI et al., 2017). As emissões destes gases foram consideradas, sempre que houveram, na pecuária leiteira, adubação, energia elétrica e combustível, associadas ao sistema silvipastoril.

Quantificou-se as emissões de GEE das fontes emissoras, conforme metodologias desenvolvidas pelo IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006).

As emissões dos GEE foram convertidas para CO₂ equivalente, em que é considerado o potencial de aquecimento global dos gases em relação ao CO₂ (IPCC, 2006).

3.3.1 Pecuária

Para a pecuária foram consideradas as emissões oriundas da fermentação entérica do animal e do manejo de dejetos.

3.3.1.1 Fermentação Entérica

As emissões de CH₄ oriundas da fermentação entérica foram calculadas baseadas na seguinte equação:

$$\text{Emissão} = \sum \left((FE_{ij} \times Q_j \times 25^*) \div 1000 \right)$$

Em que:

Emissão – emissão referente à fermentação entérica, em MgCO_{2eq};

FE_{ij} – fator de emissão para a região *i* referente ao animal *j*, em kg CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹;

Q_j – quantidade de animais do tipo *j*, associados ao sistema silvipastoril;

(*) Potencial de aquecimento global do CH₄ é 25 vezes maior que o CO₂;

Fonte: IPCC (2006).

O fator de emissão utilizado para a fermentação entérica dos animais foi de 70 kgCH₄ animal⁻¹ ano⁻¹, recomendado para gado de leite no estado de Minas Gerais (MCT, 2010).

O manejo animal no SSP é semi-intensivo, sendo 11 o total de animais considerados nos cálculos de emissões, que ingressaram no SSP a partir do segundo ano.

3.3.1.2 Manejo de Dejetos Animais

Para o cálculo das emissões do manejo de dejetos animais utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Emissão} = \sum \left(\left(\text{FE}_{ij} \times Q_j \times 25^* \right) \div 1000 \right)$$

Em que:

Emissão – emissão referente ao manejo de dejetos, em $\text{MgCO}_{2\text{eq}}$;

FE_{ij} – fator de emissão para a região i referente ao animal j , em $\text{kgCH}_4 \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

Q_j – quantidade de animais do tipo j , presentes no SSP;

(*) Potencial de aquecimento global do CH_4 é 25 vezes maior que o CO_2 ;

Fonte: IPCC (2006).

O fator de emissão utilizado para o manejo de dejetos foi de $1,8 \text{ kg CH}_4 \text{ animal}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, conforme recomendação para gado de leite no Estado de Minas Gerais (MCTI, 2010).

3.3.2 Energia Elétrica

Para o cálculo das emissões de dióxido de carbono relacionadas à energia elétrica associada à produção no SSP, foram considerados os valores mensais da conta de energia elétrica, em $\text{R\$ mês}^{-1}$. A partir dessa informação foi calculada a quantidade de kWh consumidos ao ano e as emissões geradas por esta fonte, a partir da seguinte equação:

$$\text{Emissão} = \left(\left((\text{VC} \times 12) \div \text{VM} \div 1000 \right) \right) \times \text{FE}$$

Em que:

Emissão – emissão referente ao consumo de energia elétrica, em $\text{MgCO}_{2\text{eq}}$;

VC – valor da conta de energia elétrica, em R\$ kWh mês⁻¹;

VM – valor médio do kWh, em R\$ kWh⁻¹,

FE – fator de emissão para energia elétrica, em tCO₂ MWh⁻¹;

Para cada ano são gerados fatores de emissão de acordo com o consumo de energia e a matriz energética utilizada no Brasil (Tabela 4).

Tabela 4: Fatores de emissão por ano e consumo mensal das atividades relacionadas ao sistema silvopastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Ano	Fator Médio Anual (MgCO ₂ MWh ⁻¹)*	Consumo Mensal (kWh)
2011	0,0292	269,11
2012	0,0653	176,66
2013	0,096	165,28
2014	0,1355	183,11
2015	0,1244	179,92

*Fonte: MCTI, 2016

3.3.3 Consumo de Combustíveis

Foram consideradas somente as emissões (CO₂, CH₄ e N₂O) de diesel consumido nas atividades associadas ao SSP, conforme a seguinte equação:

$$CE=C \times (1-QB)$$

Em que:

CE – consumo efetivo de combustível, em litros mês⁻¹;

C – consumo total de combustível, em litros mês⁻¹;

QB – quantidade de biocombustível presente no combustível.

Para diesel QB = 0,06:

$$\text{Emissão} = \sum \left((CE_i \times 12 \times FE_i \times PAG_j) \div 1000 \right)$$

Em que:

Emissão – emissão referente ao consumo de combustíveis e óleos lubrificantes, em tCO_{2eq};

CE_i – Consumo efetivo do combustível tipo *i*, em L ou m³;

FE_i – fator de emissão para o combustível tipo i , em $\text{kgGEE}_i \text{ L}^{-1}$ ou m^3

(Tabela 5);

PAG_j – potencial de aquecimento global do GEE j ($PAG_{\text{CH}_4} = 25$; $PAG_{\text{N}_2\text{O}} = 298$).

Fonte: IPCC (2006).

Tabela 5: Fatores de emissão para CO_2 , CH_4 , N_2O associados o consumo de diesel no Brasil

Tipo de combustível	Fatores de Emissão ($\text{kg GEE}_i \text{ litro}^{-1}$)		
	CO_2	CH_4	N_2O
Diesel	2,60300	0,00014	0,00014

Fonte: GHG Protocol (2016).

O consumo de diesel ao longo dos anos foi crescente, em virtude do uso de máquinas agrícolas no cultivo de milho, destinado à alimentação suplementar dos animais (Tabela 6).

Tabela 6: Consumo anual de diesel utilizado nas estimativas das emissões de gases de efeito estufa associados ao sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

ANO	Consumo (L)
2011	170,76
2012	220,45
2013	214,71
2014	245,73
2015	751,28

3.3.4 Fertilização Nitrogenada

O cálculo das emissões decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados foi realizado utilizando a seguinte equação:

$$QN_i = QF_i \times QNF_i$$

Em que:

QN_i – quantidade total de N aplicada ao solo pelo fertilizante i , em kg ano^{-1} ;

QF_i – quantidade do fertilizante tipo i aplicada ao solo, em kg ano^{-1} ;

QNF_i – quantidade de N presente no fertilizante i , em kg N kg⁻¹ fertilizante.

A emissão de N₂O pelo uso do fertilizante nitrogenado foi calculada segundo a equação:

$$\text{Emissão} = \sum \left(\left(QN_i \times FE \times \frac{44^*}{28} \times 298^{**} \right) \div 1000 \right)$$

Em que:

Emissão – emissão referente ao uso de fertilizantes sintéticos e orgânicos nitrogenados, em MgCO_{2eq};

QN_i – quantidade total de N aplicada ao solo pelo fertilizante i , em kg ano⁻¹;

FE – fator de emissão para fertilizantes nitrogenados, em kg N₂O-N kg N⁻¹;

(*) 44/28 é o fator de conversão de N₂O-N para N₂O;

(**) Potencial de aquecimento global do N₂O é 298 vezes maior que o CO₂.

Fonte: IPCC (2006).

3.3.5 Calcário

A quantificação das emissões foi realizada pela seguinte equação:

$$\text{Emissão} = \left(Q \times FE \times \frac{44^*}{12} \right) \div 1000$$

Em que:

Emissão – emissão referente ao uso de calcário, em MgCO_{2eq};

Q – quantidade de calcário adicionada ao solo, em kg ano⁻¹;

FE – fator de emissão para o calcário, em kg C kg calcário⁻¹;

(*) 44/12 é o fator de conversão de CO₂-C para CO₂.

Fonte: IPCC (2006).

3.4 Balanço de Carbono

O balanço de carbono foi realizado comparando, anualmente, as emissões de gases de efeito estufa com o incremento de carbono, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Balanço} = \text{Incremento}_{\text{total}} - \text{Emissão}_{\text{total}}$$

Em que:

Balanço – balanço de carbono do sistema silvipastoril, em $\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$;

Incremento_{total} – incremento total de carbono no sistema silvipastoril, em $\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$;

Emissão_{total} – emissão total de GEE das atividades associadas ao sistema silvipastoril, em $\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$.

Como a pastagem já existia no local antes da implantação do SSP, ela não resultou em incremento de carbono e não foi considerada no balanço.

3.5 Emissões por Unidade Produzida

As emissões geradas por litro de leite e por animal foram calculadas levando-se em consideração as emissões do SSP, o total de leite produzido em cada ano e o número de animais.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização do Componente Arbóreo do Sistema Silvistoril

4.1.1 Relação Hipsométrica

O ajuste da relação hipsométrica (Tabela 7) foi considerado adequado, de acordo com as análises do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_2), erro padrão da média ($S_{\bar{y}}$), e análise residual (Figura 3).

Tabela 7: Valores dos parâmetros e coeficientes do ajuste da relação hipsométrica para eucalipto em sistema silvistoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Coeficiente	β_0	3,4577
	β_1	0,8624
Parâmetros	\bar{R}_2	93,56%
	$S_{\bar{y}}$	0,9113

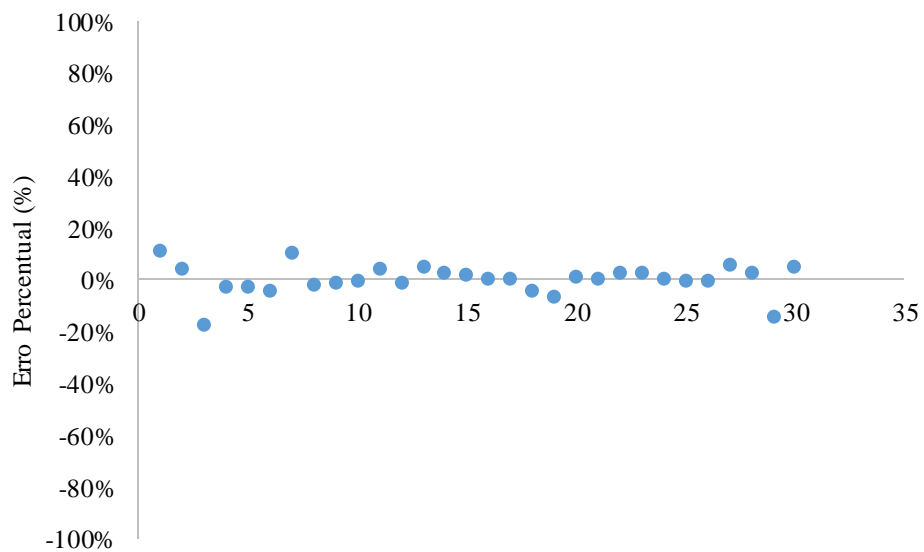


Figura 3: Erro residual da estimativa da relação hipsométrica das árvores do sistema silvistoril, em Visconde do Rio Branco, MG.

4.1.2 Equação Volumétrica

O ajuste da equação volumétrica (Tabela 8) também foi considerado adequado, com base nas análises do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_2), erro padrão da média ($S_{\bar{y}}$) e gráfico de resíduos (Figura 4),

Tabela 8: Valores dos parâmetros e coeficientes estatísticos da equação gerada pelo modelo não linear de Schumacher e Hall, para estimativa do volume de árvores no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Coeficientes	β_0	0,00019
	β_1	1,50800
	β_2	0,89230
Parâmetros	\bar{R}_2	95,32%
	$S_{\bar{y}}$	0,6128

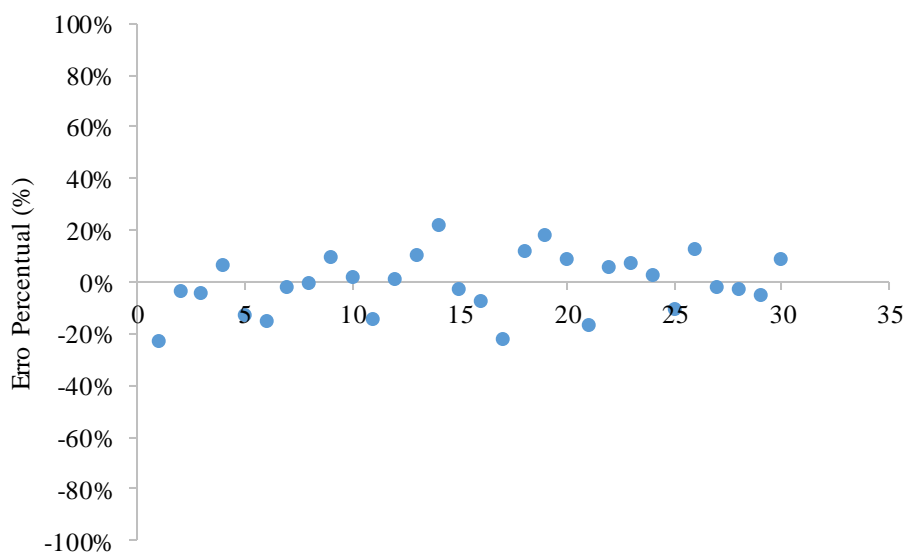


Figura 4: Erro residual da estimativa volumétrica baseado no modelo de Schumacher e Hall para eucalipto no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG.

4.1.3 Avaliação da Densidade da Madeira

A densidade da madeira foi superior no centro de classe diamétrica de 18,75 cm, e teve menores valores nos centros de classe de 8,75 e 13,75 cm, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9: Densidade básica da madeira, por centro de classe diamétrica, do componente arbóreo no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Centro de classe (cm)	Densidade (g cm⁻³)
8,75	0,3574
11,25	0,3645
13,75	0,3573
16,25	0,3592
18,75	0,3985
21,25	0,3840

4.2 Estoque de Carbono no Componente Arbóreo

A produção de madeira do SSP foi de 38,9424 m³ ha⁻¹, aos 4,2 anos, e a biomassa de 14,4165 Mg ha⁻¹. O estoque de carbono no fuste do componente arbóreo foi de 6,7757 Mg ha⁻¹; sendo estimados valores de 1,2271, 0,6369, e 0,1972 Mg ha⁻¹ para raízes, galhos e folhas, respectivamente. Assim, o Incremento Médio Anual foi de 7,6309 MgCO_{2eq} ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 10).

Tabela 10: Volume, biomassa, estoque de carbono e incremento médio anual em carbono e CO₂ eq do componente arbóreo, aos 4,25 anos de idade, no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Componentes da Árvore	Volume (m³ ha⁻¹)	Biomassa (Mg ha⁻¹)	Carbono (Mg ha⁻¹)	Dióxido de Carbono (MgCO_{2eq} ha⁻¹)	IMACO_{2eq} (Mg ha⁻¹ ano⁻¹)
Fuste	38,9424	14,4165	6,7757	24,8670	5,8511
Raízes	-	-	1,2271	4,5034	1,0596
Galhos	-	-	0,6369	2,3375	0,5500
Folhas	-	-	0,1972	0,7236	0,1703

O fuste representou 76,67% do IMACO_{2eq} ha⁻¹ ano⁻¹ da estimativa de estoque de carbono, seguido por raízes (13,88%), galhos (7,21%) e folhas (2,24%).

4.3 Estoque de Carbono na Pastagem

Os valores de biomassa e carbono nos dois momentos de coleta foram distintos. O estoque de carbono na primeira medição (período pré chuva) foi 49,42% inferior ao da segunda (período pós chuva), sendo o estoque médio de carbono de 3,4250 Mg.ha⁻¹ (Tabela 11).

Tabela 11: Estimativa de biomassa e carbono na pastagem, nos períodos pré e pós chuva, no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Período	Biomassa (Mg ha⁻¹)	Carbono (Mg ha⁻¹)
Pré chuva	4,8194	2,2651
Pós chuva	9,7552	4,5849
Média	7,2858	3,4250

4.4 Emissões de Gases de Efeito Estufa

Em 2011 a calagem foi a principal fonte de emissão (3,2362 MgCO_{2eq}) no SSP. No horizonte de 5 anos, essa atividade foi a segunda mais importante, representando 3,87% das emissões totais.

A energia elétrica foi a segunda menor fonte de emissões de gases de efeito estufa (0,9894 MgCO_{2eq}), e representou 1,18 % do total. A adubação nitrogenada foi a atividade que menos emitiu GEE (0,50%). Em 2011 o total foi de 0,4213 MgCO_{2eq}, decorrente de 0,0972 MgCO_{2eq} da formulação N-P-K (6-30-6) e 0,3241 MgCO_{2eq} da formulação N-P-K (20-00-20), decorrentes do cultivo de eucalipto.

Na avaliação das emissões totais, por ano, observou-se que em 2011 foram menores (0,7882 MgCO_{2eq} ha⁻¹), devido à ausência do componente animal. Nos demais anos os valores foram próximos, com maior valor em 2014 (4,2107 MgCO_{2eq} ha⁻¹), associado ao maior consumo de combustível (Tabela 12).

Tabela 12: Fontes emissoras de GEE das atividades associadas ao sistema silvipastoril, e suas respectivas emissões

Fontes Emissoras	Emissões por Ano (Mg CO_{2eq})					Total	Total ha⁻¹	Percentual
	2011	2012	2013	2014	2015			
Animal	-	19,7450	19,7450	19,7450	19,7450	78,9800	16,5924	94,44%
Calagem	3,2362	-	-	-	-	3,2362	0,6799	3,87%
Energia	0,0943	0,1384	0,1904	0,2977	0,2686	0,9894	0,2079	1,18%
Adubação nitrogenada	0,4213	-	-	-	-	0,4213	0,0885	0,51%

Total	3,7518	19,8834	19,9354	20,0427	20,0136	83,6269	17,5687	100,00%
Total ha ⁻¹	0,7882	4,1772	4,1881	4,2107	4,2045	-	-	-

A calagem foi a principal fonte de emissão de GEE no cultivo de milho, com 1,4651 Mg CO_{2eq} ha⁻¹ (61,13%). O consumo de combustíveis foi a segunda maior fonte de GEE com 0,8383 Mg CO_{2eq} ha⁻¹ (26,44%) e a fertilização nitrogenada a que menos emitiu (0,2978 Mg CO_{2eq} ha⁻¹) (Tabela 13).

Em 2015, as emissões foram maiores (0,9805 Mg CO_{2eq} ha⁻¹), também devido ao aumento no consumo de combustíveis. Nos anos de 2013 e 2014 os valores foram próximos (0,6999 e 0,7161 Mg CO_{2eq} ha⁻¹).

Tabela 13: Fontes de GEE no cultivo de milho, e suas respectivas emissões (em Mg CO_{2eq} e Mg CO_{2eq} ha⁻¹)

Fontes de emissão	Emissões por Ano (Mg CO _{2eq})			Total	Total ha ⁻¹	Percentual
	2013	2014	2015			
Calagem	2,3247	2,3247	2,3247	6,9740	3,3052	61,13%
Combustível	0,5345	0,6117	1,8702	3,0164	1,4296	26,44%
Adubação nitrogenada	0,4725	0,4725	0,4725	1,4175	0,6718	12,43%
Total	3,3317	3,4089	4,6673	11,4079		
Total ha ⁻¹	1,5790	1,6156	2,2120	-	5,4066	100,00%

4.5 Balanço de Carbono

O balanço de carbono em todos os anos foi positivo, com maior valor em 2011 (5,9237 MgCO_{2eq} ha⁻¹). A implantação do SSP gerou um excedente de 15,9909 MgCO_{2eq} ha⁻¹ (Figura 5).

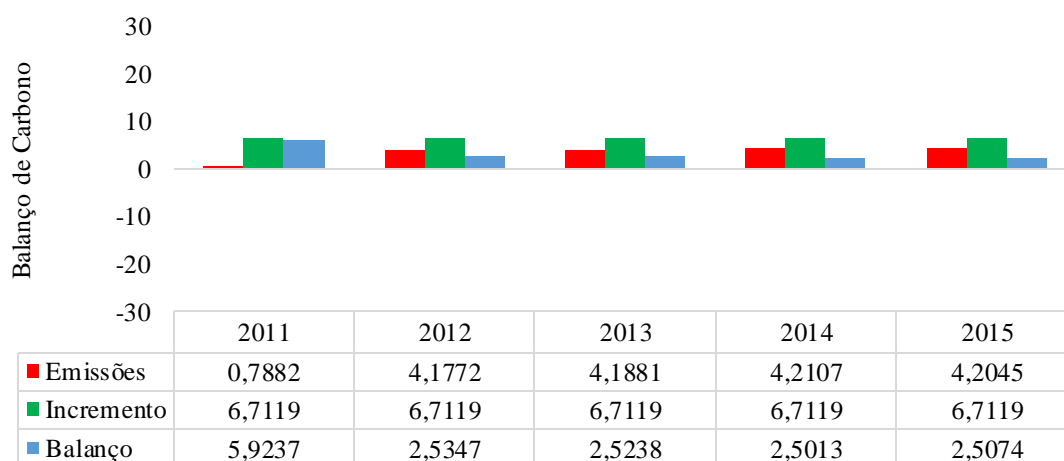


Figura 5: Balanço de emissões de gases de efeito no sistema silvipastoril (em $\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$), entre 2011 e 2015, em Visconde do Rio Branco, MG.

O estoque de carbono do componente arbóreo, além de neutralizar as emissões do SSP, foi suficiente para compensar as $11,4079 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$ geradas no cultivo de milho.

4.6 Emissões por Unidade Produzida

As emissões por litro de leite produzido variaram entre 0,00007 e 0,00015 $\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1} \text{L}^{-1}$, no período de 2011 a 2015. A média encontrada para o período foi de 0,00010 (Tabela 14).

Tabela 14: Emissões de gases de efeito estufa, por litro de leite, associadas ao sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

ANO	Emissões ($\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$)	Produção (L)	Emissões ($\text{MgCO}_{2\text{eq}} \text{L}^{-1}$)
2012	4,1772	27.514,76	0,00015
2013	4,1881	37.852,21	0,00011
2014	4,2106	54.336,90	0,00007
2015	4,2045	59.519,91	0,00007
Média			0,00010

As emissões por unidade animal variaram de $1,8076 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{animais}^{-1} \text{ha}^{-1}$ no ano de 2012 a $1,8194 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{animais}^{-1} \text{ha}^{-1}$ em 2015. A média durante o período avaliado foi de $1,8153 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{animais}^{-1} \text{ha}^{-1}$ (Tabela 15).

Tabela 15: Emissões de gases de efeito estufa por animal presente no sistema silvipastoril em Visconde do Rio Branco, MG

ANO	Emissões (MgCO₂eq)	Animais⁻¹ ha⁻¹	Emissões (MgCO₂eq animais⁻¹ ha⁻¹)
2012	4,1772	2,3109	1,8076
2013	4,1881	2,3109	1,8123
2014	4,2106	2,3109	1,8220
2015	4,2045	2,3109	1,8194
		Média	1,8153

5. DISCUSSÕES

O Incremento Médio Anual (IMA) de madeira do SSP foi de $9,1629 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este valor é menor que o encontrado em SSP, com eucalipto e acácia, em Montes Claros, MG, no espaçamento de $10 \times 2 \text{ m}$, aos 25 meses de idade ($14,27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), indicando possíveis efeitos de ambiente, tratos culturais e densidade de árvores por área.

O IMAC foi de $2,0793 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, superior ao encontrado por Müller et al. (2009), que estimaram o acúmulo de $1,43 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos 10 anos de idade em SSP com aleias de 10 m , intercaladas por faixas de pastagem de 30 m . Tal resultado mostra que, entre outros fatores, o arranjo espacial do sistema deve ser levado em consideração com o objetivo de maximizar o estoque de carbono.

O IMAC de $2,0793 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é também superior ao valor de $0,44 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ previstos no Plano ABC, como potencial dos SAFs, evidenciando o potencial do SSP estudado na mitigação de GEE.

Tsukamoto Filho et al. (2004) encontraram IMAC de $7,33 \text{ MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aos 11 anos de idade, em um SAF com eucalipto no espaçamento de $10 \times 4 \text{ m}$. A diferença entre os resultados pode ser justificada pela idade e maior precipitação na região ($1.438 \text{ mm ano}^{-1}$), que favorecem o desenvolvimento das árvores.

Oliveira et al. (2008) compararam a estocagem de carbono em um SAF com eucalipto, em duas densidades populacionais, aos 21 anos. Na densidade inicial de $500 \text{ indivíduos ha}^{-1}$ o IMA $\text{MgC ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foi de $3,40$. Já no arranjo inicial com $1.000 \text{ indivíduos ha}^{-1}$ o IMA $\text{MgC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ foi de $3,81$. Segundo os autores, a diferença entre os resultados pode ser explicada pela realização de desbastes ao longo dos anos, que favorecem o crescimento das árvores remanescentes no plantio.

O número de animais no pasto ($2,31 \text{ animais ha}^{-1}$) é superior à capacidade média de carga para gado de leite no Brasil, que pode variar de $1,22$ a $2,22 \text{ animais ha}^{-1}$ (LOPES et al., 2013). Esse número superior é possível devido a alimentação complementar, que

permite caracterizar a pecuária na propriedade como semi-intensiva. Desta forma, houve maior valor das emissões de gases de efeito estufa pelo componente animal, que representou 93,44% do total, ao longo do período avaliado.

A adubação nitrogenada correspondeu à menor fonte de emissão de GEE no SSP, com 0,51% do total. No entanto, quando esta fertilização é feita em maior quantidade, tem potencial considerável nas emissões de GEE (VETTER et al., 2017). Uma forma de reduzir tais emissões é a utilização de inibidores do processo de nitrificação (RIME et al., 2017), que são aplicados junto com o fertilizante e tem capacidade de reduzir as emissões em até 55% (HU et al., 2013).

O balanço de carbono em sistemas agroflorestais tem sido amplamente estudado (HERGOUALC'H et al., 2012; WICKE et al., 2013; CARVALHO et al., 2016; KIM et al., 2016), sendo comprovado seu potencial para mitigação dos GEE. Na região da Zona da Mata de Minas Gerais, já foi constatada a capacidade dos SSPs neutralizarem todas as emissões de GEE em condições de pecuária extensiva (CASTRO NETO et al., 2017).

A pecuária semi-intensiva, com maior número de animais ha^{-1} , quando comparada com o manejo extensivo, emite menos GEE por unidade de produção (McMICHAEL et al., 2007).

Ao comparar as emissões de GEE em um sistema intensivo com semi-intensivo para produção de leite, foi comprovado que quanto mais intensificado for o manejo animal, menores serão as emissões por unidade produzida (CUNHA et al., 2016).

Quando comparado com estudos que avaliam as emissões de GEE por litro de leite produzido, em diferentes sistemas de produção, as emissões do SSP avaliado foram próximas às encontradas na literatura para manejos intensificados. Tal fato evidencia o potencial do sistema em conciliar a produção de leite com redução das emissões de GEE (Tabela 16).

Tabela 16: Emissões de GEE por litro de leite produzido em diferentes sistemas de produção, comparadas as do SSP, em Visconde do Rio Branco, MG

Autores	Emissões (MgCO₂eq L⁻¹)
CASEI et al., 2005	0,00150
VERGÉ et al., 2007	0,00100
THOMA et al., 2013	0,00210
DANESHI et al., 2014	0,00300
Lopes 2013 ^a	0,00013
Lopes 2013 ^b	0,00035
Este estudo	0,00100

^amanejo intensivo, ^bmanejo semi-intensivo

Essa menor emissão por litro de leite produzido, assim como a capacidade de neutralização de GEE do SSP, é considerada importante no contexto das metas assumidas pelo Governo brasileiro de redução de emissões, devido a necessidade de conciliar o aumento na produção da pecuária com a redução das emissões de GEE (VELTMAN et al., 2017).

6. CONCLUSÕES

- O balanço de carbono no sistema silvipastoril semi-intensivo é positivo;
- O componente animal é a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa do sistema silvipastoril;
- As emissões por animal são de $1,8153 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ animal}^{-1} \text{ ha}^{-1}$. Até o valor de $3,2011 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ animal}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ o sistema é neutro em carbono;
- As emissões por unidade produzida no sistema silvipastoril são de $0,00010 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ L}^{-1}$. Até o valor de $0,0031 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ L}^{-1}$ o sistema é neutro em carbono.

7. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941-02 - **Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ADEOTI, O.; AYELEGUN, T. A.; OSHO, S. O. Nigeria biogas potential from livestock manure and its estimated climate value. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 243-248, 2014.

BRASIL-REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. 6 p., 2015.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 3 ed. 548 p.

CÁRDENAS, M. D.; ARMAS, O.; MATA, C.; SOTO, F. Performance and pollutant emissions from transient operation of a common rail diesel engine fueled with different biodiesel fuels. **Fuel**, v. 185, p. 743-762, 2016.

CARVALHO, G. L.; MARIA, C. I.; SÁ, M. E.; ALVES, F. R. B.; SCHIAVON, L. V.; SENA, O. T. Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 224, p. 30-39, 2016.

CASEY, J. W.; HOLDEN, N. M. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. **Agricultural Systems**, v. 86, n. 1, p. 97-114, 2005.

CASTRO NETO, F.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CASTRO NETO, M.; VILLANOVA, P. H.; FERREIRA, G. L. Balanço de carbono em dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. **Floresta e Ambiente**, v.24, p. 1-9, 2017.

CUNHA, C. S.; LOPES, N. S.; VELOSO, C. M.; JACOVINE, L. A. G.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R.; MARCONDES, M. A. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 744-754, 2016.

GHG Protocol – **Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol** - Versão 2016.2. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em 5 de dezembro de 2016.

GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, J. R. S.; THIERSH, C. R.; OLIVEIRA, A. D. Uma nova amostragem para definição da suficiência amostral em fragmentos florestais nativos. **Cerne**, v.11, n. 4, p. 376-388, 2005.

GUIDOLOTTI, G.; CALFAPIETRA, C.; PALLOZZI, E.; DE SIMONI, G.; ESPOSITO, R.; MATTIONI, M.; NICOLINI, G.; MATTEUCCI, G.; BRUGNOLI, E. Promoting the potential of flux-measuring stations in urban parks: An innovative case study in Naples, Italy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 233, p. 153-162, 2017.

HERGOUALC'H, K.; BLANCHART, E.; SKIBA, U.; HÉNAULT, C.; HARMAND, J. M. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 102-110, 2012.

HU, X.; SU, F.; JU, X.; GAO, B.; OENEMA, O.; CHRISTIE, P.; HUANG, B.; JIANG, R.; ZHANG, F. Greenhouse gas emissions from a wheat and maize double cropping system with different nitrogen fertilization regimes. **Environmental Pollution**, v.176, p. 198-207, 2013.

IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. (Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme; Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. 2006).

KIM, G. G.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; BEEDY, T. L. Carbon sequestration and net emissions of CH₄ and N₂O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 226, p. 65-78, 2016.

LOPES, M. A.; FELTRE, K.; DE OLIVEIRA, A. D.; EVANGELISTA, A. R. Manejo e viabilidade econômica da adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 21, p. 156-162, 2013.

LOPES, N. L. **Potencial de neutralização das emissões de gases de efeito estufa na pecuária leiteira pelos sistemas silvipastoris** 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

McMICHAEL, A. J.; POWLES, J. W.; BUTLER, C. D.; UAUY, R. Food, livestock production, energy, climate change, and health. **The Lancet**, v. 370, p. 1253-1263, 2007.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito, emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. Brasília -DF, Brasil, 121p., 2010.

MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. **Fatores de emissão de gases de efeito estufa na energia elétrica**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>. Acesso: 05 de dezembro de 2016.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 11-60, 2009.

NAIR, P. K. R. Agroforestry: Practices and Systems. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. p: 270-282, 2014.

NEUMANN, M.; MORENO, A.; MUES, V.; HARKONEN, S.; MURA, M.; BOURIAUD, O.; LANG, M.; ACHTEN, W. M. J.; THIVOLLE-CAZAT, A.;

- BRONISZ, K.; MERGANIC, J.; DECUYPER, M.; ALBERTI, I.; ASTRUP, R.; MOHREN, F.; HASENAUER, H. Comparison of carbon estimation methods for European forests. **Forest Ecology and Management**, v. 361, p. 397-420, 2016.
- OLIVEIRA, E. B.; RIBASKI, J.; ZANETTI, É. A.; PENTEADO JÚNIOR, J. F. Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.57, p.45-56, 2008.
- OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; ALTOÉ, T. F.; SCALON, J. D.; SCOLFORO, J. R. S.; PIRES, J. V. Equações hipsométricas para *Eucalyptus* spp. não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 483-492, 2015.
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; DA COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 575-585, 2010.
- RÉ, D. S.; ENGEL, V. L.; OTA, L. M. S.; JORGE, L. A. B. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 133-140, 2015.
- RIME, T.; NIKLAUS, P. A. Spatio-temporal dynamics of soil CH₄ uptake after application of N fertilizer with and without the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 104, p. 218-225, 2017.
- ROLIM, S. G.; DE CAMARGO, P. B. M.; LANIA, G. D.; DE MOARES, L. F. J. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n. 4, p. 711-720, 2007.
- SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; DA SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1, p. 1-7, 2012.
- SILVA, J. G.; RUVIARO, C. F.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Livestock intensification as a climate policy: Lessons from the Brazilian case. **Land Use Policy**, v. 62, p. 232-245, 2017.
- SILVA, L. F.; FERREIRA, G. L.; DOS SANTOS, A. C. A.; LEITE, H. G.; DA SILVA, M. L. Equações Hipsométricas, Volumétricas e de Crescimento para *Khaya ivorensis* Plantada em Pirapora. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 362-368, 2016.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.
- THOMA, G.; POPP, J.; NUTTER, D.; SHONNARD, D.; ULRICH, R.; MATLOCK, M.; KIM, D. S.; NEIDERMAN, Z.; KEMPER, N.; EAST, C.; ADOM, F. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-

grave life cycle assessment circa 2008. **International Dairy Journal**, v. 31, p. 3-14, 2013.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; BRIANEZI, D.; ALVES, E. B. B. M. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235-244, 2014.

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

VELTMAN, K.; JONES, C. D.; GAILLARD, R.; CELA, S.; CHASE, L.; DUVAL, B. D.; IZAURRALDE, R. C.; KETTERINGS, Q. M.; LI, C.; MATLOCK, M.; REDDY, A.; ROTZ, A.; SALAS, W.; VADAS, P.; JOLLIET, O. Comparison of process-based models to quantify nutrient flows and greenhouse gas emissions associated with milk production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 237, p. 31-44, 2017.

VERGÉ, X. P. X.; DYER, J. A.; DESJARDINS, R. L.; WORTH, D. Greenhouse gas emissions from the Canadian dairy industry in 2001. **Agricultural Systems**, v. 94, p. 683-693, 2007.

VETTER, S. H.; SAPKOTA, T. B.; HILLER, J.; STIRLING, C. M.; MACDIARMID, G. L.; ALEKSANDROWICZ, L.; GREEN, R.; JOY, E. J. M.; DANGOUR, A. D.; SMITH, P. Greenhouse gas emissions from agricultural food production to supply Indian diets: Implications for climate change mitigation. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 237, p. 234-241, 2017.

WICKE, B.; SMEETS, E. M. W.; AKANDA, R.; STILLE, L.; SINGH, R. K.; AWAN, A. R.; MAHMOOD, K.; FAAIJ, A. P. C. Biomass production in agroforestry and forestry systems on salt-affected soils in South Asia: Exploration of the GHG balance and economic performance of three case studies. **Journal of Environmental Management**, v. 127, p. 324-334, 2013.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA SILVIPASTORIL, COM PECUÁRIA LEITEIRA, EM VISCONDE DO RIO BRANCO, MG

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos e produtos florestais, associado à necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa e ao desmatamento, reforça a importância de incentivos a tecnologias que conciliem o desenvolvimento econômico com conservação ambiental (VILELA et al., 2011; MAEDA et al., 2015).

Nesse contexto, os sistemas agroflorestais (SAFs) constituem uma alternativa ao desenvolvimento de regiões como a Zona da Mata mineira, caracterizada pelo predomínio de pequenas propriedades rurais com pastagens de baixa produtividade (CORDEIRO et al., 2014). Os benefícios proporcionados pela implantação desses sistemas podem contribuir para a renovação das pastagens degradadas (VILELA et al., 2011), controle de erosão (LIU et al., 2016) e redução dos riscos econômicos na propriedade rural (GAGLIARDI et al., 2015).

Estudos sobre a viabilidade econômica de SAFs já foram conduzidos (DUBÈ et al., 2000; RIBEIRO et al., 2007; MÜLLER et al., 2011; CORDEIRO et al., 2014; MAGALHÃES et al., 2014), porém constatou-se que fatores como o modelo de SAF, espécie arbórea utilizada, espaçamento de plantio, época de colheita, destinação da madeira, taxa de juros e o sistema de manejo da pecuária podem influenciar a viabilidade econômica desses sistemas.

Além desses aspectos, as receitas provenientes do componente arbóreo podem melhorar, de forma significativa, o fluxo de caixa de um projeto (SOUZA et al., 2007; MÜLLER et al., 2011; GREGORIO et al., 2015). Dessa forma, em virtude das diferentes abordagens e metodologias nos estudos relacionados à viabilidade econômica de SAFs, e dos diferentes fatores que podem influenciar o êxito econômico, são necessários estudos que possam melhor subsidiar produtores rurais em tomadas de decisão.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade econômica de um sistema silvipastoril (SSP), com pecuária semi-intensiva, no município de Visconde do Rio Branco, MG.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar os principais custos que afetam a viabilidade do sistema silvipastoril.

Avaliar diferentes cenários econômicos para produção de leite e madeira.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do Local de Estudo

O estudo foi conduzido em um SSP (4,76 ha), implantado em 2011, em uma propriedade rural em Visconde do Rio Branco, MG (20°58'49.23"S e 42°52'59.49"O).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, subtropical com inverno seco e verão quente e chuvoso (ROLIM et al., 2007). Nessas regiões as precipitações ocorrem, principalmente, entre os meses de outubro e março, com médias em torno de 110 mm por mês e o total do ano em torno de 1.373 mm. No mês de junho são observadas as menores temperaturas médias (16,6° C), e no mês de janeiro as temperaturas mais elevadas (23,5° C) (SÁ JUNIOR et al., 2012).

No município de Visconde do Rio Branco predomina o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, como na maioria da região da Zona da Mata (PORTUGAL et al., 2010).

O componente arbóreo do sistema silvipastoril é um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, plantado no espaçamento de 10 x 3 m, e a pastagem formada por *Brachiaria decumbes*. Foi realizada adubação na implantação do eucalipto e de manutenção, 90 dias após o plantio. Além disso, foi realizada aplicação de calcário calcítico (Tabela 1).

Tabela 1: Adubações realizadas no componente arbóreo e no pasto do sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Fertilizante	Dosagem	Unidade
NPK 06-30-06	0,2	kg cova ⁻¹
NPK 20-00-20	0,2	kg cova ⁻¹
Calcário	1,52	Mg ha ⁻¹

O componente animal, 11 vacas leiteiras (2,31 animais ha⁻¹), foi inserido no início do segundo ano. Como os animais alternaram sua alimentação entre o pasto e o cocho, o sistema de produção é classificado como semi-intensivo (ADEOTI et al., 2014).

Além da fertilização mencionada na Tabela 1, foram considerados também na análise econômica os custos relativos ao cultivo milho (*Zea mays*), cultivado em 2,11 ha de monocultura para alimentação suplementar dos animais associados ao SSP (Tabela 2).

Tabela 2: Adubação realizada no cultivo de milho

Fertilizante	Dosagem (Mg ha⁻¹)
NPK 8-28-6	0,21
Calcário	2,62

Foi considerada nos cálculos a necessidade de 30 kg dia⁻¹ de alimento por animal, e que 21 kg dia⁻¹ seria proveniente da silagem e o restante da alimentação no pasto. A produtividade de silagem à base de milho foi de 40 Mg ha⁻¹.

3.2 Composição dos Custos e Receitas

A composição dos custos e receitas foi realizada da seguinte maneira:

- Implantação do eucalipto: limpeza da área e marcação de linhas, abertura de covas, coroamento, plantio, adubação de plantio, adubação de cobertura;
- Insumos para Implantação do SSP: mudas de eucalipto, calcário, fertilizantes (NPK 6-30-6 e NPK 20-00-20), formicida, cupinicida;
- Insumos para produção de leite: sal mineral, farelo de soja, vacinas (aftosa, raiva, carbúnculo e brucelose), vermífugo, carrapaticida, mosquiticida e brincos de boi;
- Insumos para cultivo de milho: Calcário, NPK 8-28-16, sementes de milho, glifosato, uréia, DMA, atrasina;
- Aquisição de animais: 11 vacas em lactação;

- Serviços: salários de funcionário e responsável por manutenção de máquinas, considerando encargos trabalhistas de 68,77% (SEBRAE, 2015);
- Custo da terra: juros sobre o valor da terra;
- Outros: energia, diesel;
- Máquinas e equipamentos: refrigerador, ordenha, trator, ensiladeira, roçadeira e picadeira de forragem. Para estes componentes foram considerados os juros e o valor de depreciação;
- Receitas: Venda de leite, vacas, novilhas e novilhos, madeira para lenha e serraria.

3.3 Cenários

A análise econômica foi realizada considerando os seguintes cenários:

- 1) Produção de leite com pastagem sem árvores, até o quarto ano;
- 2) Produção de leite em SSP e de madeira para lenha, até o quarto ano;
- 3) Produção de leite em SSP e produção de madeira para lenha (50%) e serraria (50%), até o 12º ano (cenário planejado pelo produtor rural);
- 4) Aluguel da pastagem e produção de madeira para lenha (50%) e serraria (50%) até o 12º ano.

Os preços da venda de madeira em pé considerados foram de R\$25,00 m³ para lenha e R\$170,00 m³ para serraria (CIFLORESTAS, 2017). O valor de aluguel da pastagem para pecuária foi R\$330,00 ha⁻¹ ano⁻¹ e a taxa de juros de 10 % a. a.

Tabela 3: Cenários considerados nas análises de viabilidade econômica do sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Cenário	Descrição	Idade (anos)
1	Leite + pastagem sem árvores	4
2	Leite + Lenha	4
3	Leite + Lenha + Serraria	12
4*	Lenha + Aluguel da Pastagem	12

*Neste cenário, os custos da produção de leite, bem como as receitas do ano 4, serão repetidos para os anos seguintes.

O incremento médio anual (IMA) de madeira foi de 43,6141 m³ ano⁻¹. Esse valor foi considerado para os anos seguintes, até o corte final de madeira para lenha e, ou, serraria.

Em cada um dos cenários foi considerada, ao fim do ciclo, a venda dos 11 animais presentes no sistema, a R\$3.000,00 a unidade.

3.4 Análise Econômica

Foi elaborado um fluxo de caixa do sistema silvipastoril (SSP) e também do cultivo de milho. Os critérios para a análise econômica são apresentados a seguir.

3.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é definido como a soma das receitas descontados dos custos a ele associado. Um projeto é considerado economicamente viável se seu VPL for maior que zero à determinada taxa de juros (REZENDE e OLIVEIRA, 2013), de acordo com a seguinte equação:

$$VPL = \sum \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum \frac{C_j}{(1+i)^j}$$

Em que:

VPL – valor presente líquido;

R_j – receita no final do ano j;

C_j – custo no final do ano j;

i – taxa de juros;

j – período de ocorrência do custo ou receita.

3.4.2 Razão Benefício Custo (B/C)

A razão Benefício Custo consiste na relação entre as receitas e os custos de determinado projeto, para determinada taxa de juros (REZENDE e OLIVEIRA, 2013), com a seguinte equação:

$$B/C = \sum \frac{R_j(1+i)^{-j}}{C_j(1+i)^{-j}}$$

Em que:

R_j – receita no final do ano j ;

C_i – custo no final do ano j ;

j – período de ocorrência do custo ou da receita, em anos;

i – taxa de juros.

Um projeto é considerado economicamente viável se $B/C > 1$.

3.4.3 Valor Periódico Equivalente (VPE)

É definido como a parcela periódica que iguala o VPL de uma opção de investimento a ser avaliada, ao longo do período de duração do projeto (REZENDE e OLIVEIRA, 2013). É calculado de acordo com a seguinte equação:

$$VPE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1]}{1 - (1+i)^{-nt}}$$

Em que:

VPL – Valor Presente Líquido;

n – duração do projeto, em anos;

t – número de períodos de capitalização, em anos;

i – taxa de juros.

O projeto é considerado viável do ponto de vista econômico se o VPE for positivo.

3.4.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa de desconto que iguala o VPL a zero, ou seja, valor presente das receitas igual ao valor presente dos custos (REZENDE e OLIVEIRA, 2013).

Calculada da seguinte maneira:

$$\sum R_j(1+TIR)^{-j} = \sum C_j(1+TIR)^{-j}$$

Em que:

R – Receitas do final do ano j;

C – Custos no final do ano j;

TIR – Taxa interna de retorno;

j – duração do projeto, em anos.

Em relação a TIR, o projeto será economicamente viável quando ela for superior à Taxa Mínima de Atratividade.

3.5 Análise de Sensibilidade

Havendo inviabilidade econômica de algum cenário será realizada análise de sensibilidade, com objetivo de identificar qual o percentual necessário para redução de custos, ou aumento de receita, para que os cenários se tornassem viáveis.

4. RESULTADOS

Foram elencados os custos e as receitas de cada um dos cenários, bem como as análises econômicas realizadas.

4.1 Cenário 1 (Leite + Pastagem sem Árvores)

Na avaliação da produção de leite as receitas foram superiores aos custos a partir do terceiro ano. No ano 4, houve o acréscimo de 39,42% nas receitas em virtude da venda dos animais (Tabela 4).

Tabela 4: Custos, receitas e fluxo de caixa relativos à produção de leite, até o ano 4 no cenário 1

Ano	Custo (R\$ ha ⁻¹)	Receitas (R\$ ha ⁻¹)		Fluxo de Caixa (R\$ ha ⁻¹)
	Produção de Leite	Venda de Leite	Venda de Animais	
0	5.817,67	-	-	-5.817,67
1	15.871,22	5.024,14	1.176,47	-9.670,61
2	9.761,47	8.084,68	1.176,47	-500,32
3	10.675,56	11.443,85	1.176,47	1.944,76
4	11.956,37	12.462,50	8.109,24	8.615,38

Os principais custos no cenário 1 foram os serviços (54,07%), seguido pelo custo da terra (13,78%) e a aquisição de animais (12,82%) (Figura 1).

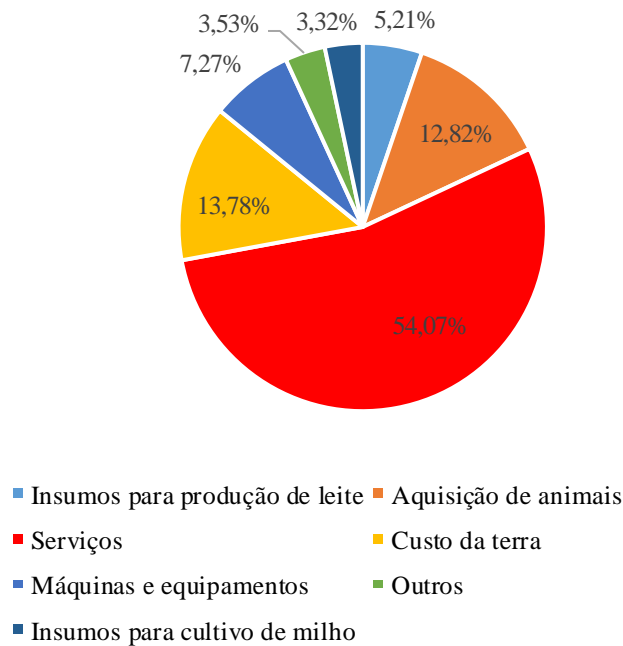


Figura 1: Discriminação percentual dos custos para produção de leite no cenário 1.

Mesmo a receita no último ano sendo significativa, em virtude dos custos, a produção de leite foi inviável economicamente (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados dos critérios avaliados na análise econômica do cenário 1

VPL (R\$ ha ⁻¹)	B/C	VPE (R\$ ha ⁻¹)	TIR (%)
-7.677,07	0,83	-2.025,19	-20,34

4.2 Cenário 2 (Leite + Lenha)

Assim como no cenário 1, as receitas foram superiores aos custos a partir do terceiro ano (Tabela 6). Houve um acréscimo no custo no ano zero, devido à implantação do eucalipto, mas que implicou em maiores receitas no ano 4 devido a venda de madeira.

Tabela 6: Custos, receitas e fluxo de caixa relativos à produção de leite e madeira para lenha, até o ano 4 no cenário 2

Ano	Custo (R\$ ha ⁻¹)		Receitas (R\$ ha ⁻¹)			Fluxo de Caixa (R\$ ha ⁻¹)
	Implantação de Eucalipto	Produção de Leite	Venda de Leite	Venda de Animais	Venda de Madeira	
0	679,34	5.817,67	-	-	-	-6.497,01
1	-	15.871,22	5.024,14	1.176,47	-	-9.670,61
2	-	9.761,47	8.084,68	1.176,47	-	-500,32
3	-	10.675,56	11.443,85	1.176,47	-	1.944,76
4	-	11.956,37	12.462,50	8.109,24	973,53	9.588,90

Os principais custos no SSP também foram os serviços (53,40%), seguido pelo custo da terra (13,61%) e a aquisição de animais (12,66%). Ressalta-se que a implantação do eucalipto compôs o menor custo entre as atividades (1,24%) (Figura 2).

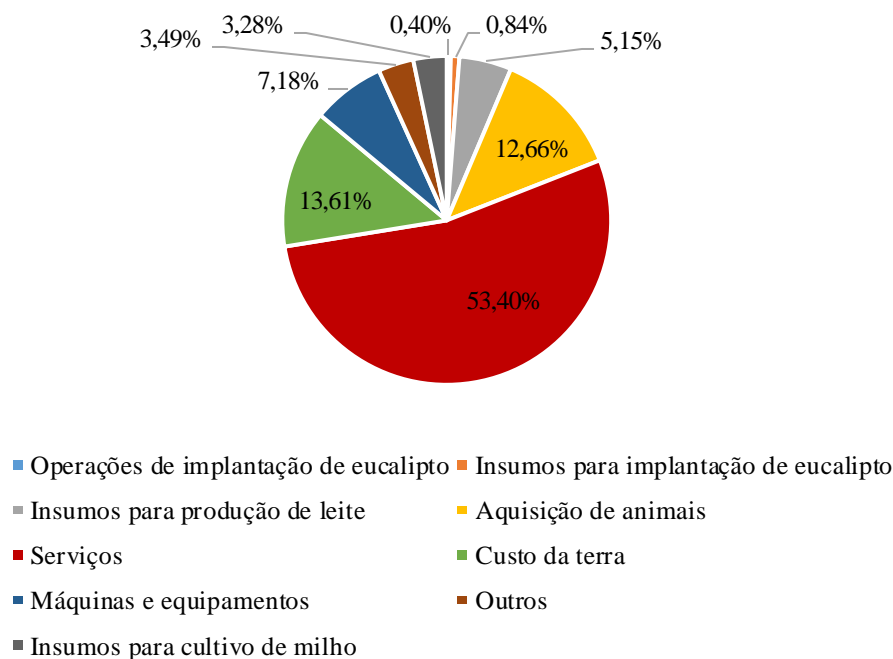


Figura 2: Discriminação percentual dos custos para produção de leite e madeira para lenha no cenário 2.

No último ano, mesmo com as receitas superiores aos custos, o SSP foi inviável economicamente. As receitas oriundas da venda de animais e da madeira não foram suficientes para compensar o fluxo de caixa negativo da produção de leite, que inviabilizou o sistema (Tabela 7).

Tabela 7: Resultados dos critérios avaliados na análise econômica do cenário 2

VPL (R\$ ha ⁻¹)	B/C	VPE (R\$ ha ⁻¹)	TIR (%)
-7.691,48	0,83	-2.028,99	-19,02

4.3 Cenário 3 (Leite + Lenha + Serraria)

As receitas foram superiores aos custos em 10 dos 13 anos. No último ano, o fluxo de caixa foi superior aos demais, em decorrência principalmente da venda da madeira (44,34% das receitas do ano) (Tabela 8).

Tabela 8: Custos, receitas e fluxo de caixa relativos a produção de leite e de madeira para lenha e serraria no cenário 3

Ano	Custo (R\$ ha ⁻¹)		Receitas (R\$ ha ⁻¹)			Fluxo de Caixa (R\$ ha ⁻¹)
	Implantação de Eucalipto	Produção de Leite	Venda de Leite	Venda de Animais	Venda de Madeira	
0	679,34	5.817,67	-	-	-	-6.497,01

1	-	15.871,22	5.024,14	1.176,47	-	-9.670,61
2	-	9.761,47	8.084,68	1.176,47	-	-500,32
3	169,00	10.675,56	11.443,85	1.176,47	-	1.775,76
4	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
5	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
6	169,00	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.513,60
7	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
8	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
9	169,00	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.513,60
10	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
11	-	11.956,37	12.462,50	1.176,47	-	1.682,60
12	-	11.956,37	12.462,50	8.109,24	16.386,55	25.001,93

Os custos de produção, até o quarto ano, foram os mesmos do cenário 2 e, apesar do fluxo de caixa negativo nos primeiros anos, o SSP foi viável economicamente. Isso ocorreu em virtude das receitas provenientes da venda de animais e, principalmente, da venda de madeira no ano 12 (Tabela 9).

Tabela 9: Resultados dos critérios avaliados na análise econômica do cenário 3

VPL (R\$ ha ⁻¹)	B/C	VPE (R\$ ha ⁻¹)	TIR (%)
469,78	1,01	66,13	0,35

4.4 Cenário 4 (Lenha + Aluguel da Pastagem)

Nesse cenário o fluxo de caixa é negativo somente no primeiro ano, em virtude dos custos relativos à implantação do eucalipto. Do segundo ano em diante, o fluxo de caixa é sempre positivo, até a venda da madeira para lenha no último ano (Tabela 10).

Tabela 10: Custos, receitas e fluxo de caixa relativos a produção de madeira, para lenha e serraria com venda aos 12 anos, e aluguel de pastagem no cenário 4

Ano	Custo (R\$ ha ⁻¹)	Receitas (R\$ ha ⁻¹)		Fluxo de Caixa (R\$ ha ⁻¹)
	Implantação de Eucalipto	Aluguel da Pastagem	Venda de Madeira	
0	679,34	330,00	-	-349,34
1	-	330,00	-	330,00
2	-	330,00	-	330,00
3	169,00	330,00	-	161,00
4	-	330,00	-	330,00
5	-	330,00	-	330,00

6	169,00	330,00	-	161,00
7	-	330,00	-	330,00
8	-	330,00	-	330,00
9	169,00	330,00	-	161,00
10	-	330,00	-	330,00
11	-	330,00	-	330,00
12	-	330,00	16.386,55	16.716,55

No 12º ano, a venda da madeira foi responsável por 98,02 % das receitas. Devido a esse fluxo de caixa positivo, o cenário 4 é viável economicamente. Todas as análises feitas evidenciaram que a produção de madeira para lenha e serraria, associada ao aluguel da pastagem para pecuária, é viável nas condições do estudo (Tabela 11).

Tabela 11: Resultados dos critérios avaliados na análise econômica do cenário 4

VPL (R\$ ha ⁻¹)	B/C	VPE (R\$ ha ⁻¹)	TIR (%)
6.721,25	7,91	946,21	71,75

4.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para os cenários 1 e 2, que foram inviáveis economicamente. Para que o cenário 1 se tornasse viável, seria necessário o aumento das receitas da produção de leite em 27,1% ou a diminuição dos custos totais de produção em 17%.

Para que o cenário 2 fosse viável economicamente, as receitas da produção de leite deveriam aumentar em 27,2%, ou diminuir os custos totais de produção em 17,1%.

5. DISCUSSÕES

Em projetos com o mesmo horizonte de planejamento, a classificação deles pelo VPL e VPE deve ser a mesma. O VPE é o critério adotado para comparar projetos com durações diferentes (SILVA et al., 2008). Tal resultado foi igualmente obtido no presente estudo (cenários 1 e 2), que seguiram a mesma ordenação pelo VPL e VPE.

Dentre os cenários avaliados o melhor foi o 4, impactados pelas receitas da venda da madeira no último ano e, também, pelo aluguel da pastagem. Os cenários 1 e 2 foram inviáveis economicamente, em virtude de os custos da produção de leite serem superiores às receitas na maioria dos anos. A inclusão do eucalipto no cenário 2 gerou um acréscimo de receita no último ano, porém não foi suficiente para viabilizar economicamente o SSP.

A análise de sensibilidade permitiu avaliar que, com aumento nas receitas da venda de leite ou redução nos custos de produção, esses cenários (1 e 2) se tornam viáveis economicamente.

O cenário 3 foi o único em que havia produção de leite (sem aluguel da pastagem) e foi economicamente viável. Mesmo com o fluxo de caixa negativo nos primeiros anos, a receita de madeira e venda de animais fez com que o SSP se tornasse rentável.

Na comparação dos SSP somente os cenários 3 e 4 foram viáveis. Nesse tipo de sistema o desejado é a destinação de parte da madeira para serraria (MÜLLER et al., 2011). Como no cenário 2 a madeira foi destinada apenas para lenha, as receitas não foram suficientes para compensar os custos de produção do sistema como um todo.

Quanto mais intensivo for o manejo animal, maior será a suplementação alimentar necessária. Silva et al. (2008) avaliaram diferentes percentuais de ração para vacas de leite e observaram que quanto maior a suplementação alimentar maior foi a produção de leite. Porém, como os custos também aumentam, o melhor cenário encontrado do ponto de vista econômico foi aquele com menor suplementação.

O maior número de animais (sistema de produção mais intensificado) não assegura o melhor desempenho econômico de um sistema de integração. Silva et al. (2012) encontraram valores de VPL e TIR superiores em sistemas produtivos com menor número de animais, quando comparado com maior número. Isto indica que apesar das receitas com a venda do leite aumentarem, os custos podem aumentar proporcionalmente e o desempenho econômico não ser o desejado.

Faria et al. (2015) avaliaram a viabilidade econômica de um sistema de integração lavoura pecuária floresta (ILPF) (eucalipto + milho + pecuária de leite), em um horizonte de planejamento de 12 anos, com taxa de juros de 7% a.a. e custo da terra estimado em R\$ 600,00 ha⁻¹. Em 10 dos 12 anos de avaliação, o fluxo de caixa foi negativo. Porém, de maneira similar ao cenário 4 do presente estudo, a receita com a venda de madeira e animais no último ano viabilizou a produção de leite com um VPL de 3.222,35 R\$ ha⁻¹ e TIR de 14,03%.

Müller et al. (2011) realizaram análise econômica de um sistema agrossilvipastoril na região da Zona da Mata de Minas Gerais, cujos componentes arbóreos foram eucalipto e acácia, a uma taxa de juros de 6% a.a. Para diferentes cenários de destinação da madeira foram encontrados valores de VPL e TIR positivos. Porém, ao simularem a uma taxa de juros de 12% a.a., o sistema se tornou inviável do ponto de vista econômico, com valores de VPL negativos.

Tais resultados evidenciam que os sistemas são sensíveis às variações nas taxas de juros e que elas podem afetar a sua rentabilidade, tornando-os viáveis ou não do ponto de vista econômico (OLIVEIRA NETO et al., 2013).

Fatores como preço da madeira, taxa de juros, horizonte de planejamento e custos de produção, devem ser levados em consideração nas análises econômicas de SAFs, que

se não planejados e executados de maneira adequada, podem ser inviáveis economicamente, a exemplos de sistemas convencionais de produção.

6. CONCLUSÕES

- Os custos com serviços são os principais do sistema silvipastoril.
- A prática do manejo semi-intensivo dos animais eleva os custos operacionais do sistema silvipastoril, porém não garante a viabilidade econômica do sistema.
- O sistema silvipastoril (cenário 3), com madeira destinada para lenha e serraria, é viável economicamente.

7. REFERÊNCIAS

ADEOTI, O.; AYELEGUN, T. A.; OSHO, S. O. Nigeria biogas potential from livestock manure and its estimated climate value. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 243-248, 2014.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento. **Taxa de Juros Programa ABC**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>>. Acesso em 06 de dezembro de 2016.

CIFLORESTAS – CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. **Cotações de venda de madeira em pé para lenha e serraria na zona da mata mineira**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/cotacoes.php>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA NETO, S. N.; OLIVEIRA, T. N.; NERY, K. C. M. S. Análise de custos e rendimentos de sistemas agroflorestais na Zona da Mata (MG). **Revista Agroambiental**, v. 6, n. 2, p. 59-70, 2014.

DUBÈ, F.; COUTO, L.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G. A. A.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. Avaliação econômica de um sistema agroflorestal com *Eucalyptus* spp. no noroeste de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais. **Revista Árvore**, v.24, n.4, p.437-443, 2000.

FARIA, C. M. A.; SILVA, M. L.; FERREIRA, L. R.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SALLES, T. T. Análise econômica de sistemas de recuperação e manutenção de pastagens com gado de leite. **Reflexões Econômicas**, v. 1, n. 1, p. 85-103, 2015.

GAGLIARDI, S.; MARTIN, A. R.; FILHO, E. M. V.; RAPIDEL, B.; ISAAC, M. E. Intraspecific leaf economic trait variation partially explains coffee performance across agroforestry management regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 151-60, 2015.

GREGÓRIO, N.; HERBOHN, J.; HARRISON, S.; SMITH, C. A systems approach to improving the quality of tree seedlings for agroforestry, tree farming and reforestation in the Philippines. **Land Use Policy**, v. 47, p. 29-41, 2015.

LIU, W.; ZHU, C.; WU, J.; CHEN, C. Are rubber-based agroforestry systems effective in controlling rain splash erosion? **Catena**, v. 147, p. 16-24, 2016.

MAEDA, M.; TOKIMATSU, K.; MORI, S. A global supply-demand balance model to assess potential CO₂ emissions and woody biofuel supply from increased crop production. **Energy Procedia**, v. 75, p. 2865-2870, 2015.

MAGALHÃES, J. G. S.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T.; REGO, L. J. S. Análise econômica de sistemas agroflorestais via uso de equações diferenciais. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 73-79, 2014.

MÜLLER, M. D.; NOGUEIRA, G. S.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F.; CASTRO, R. V. O.; FERNADES, E. N. Economic analysis of an

agrosilvipastoral system for a mountainous area in Zona da Mata Mineira, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1148-153, 2011.

OLIVEIRA NETO, S. N.; SALLES, T. T.; LEITE, H. G.; FERREIRA, G. B.; MELIDO, R. C. N. Tree modelling and economic evaluation of agroforestry systems in southeastern Brazil. **Silva Lusitana**, v. 21, n. 1, p. 43-60, 2013.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; DA COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. Editora UFV, 3ª Edição Revista e Ampliada, Viçosa – MG, 2013, 385 p.,

RIBEIRO, S. C.; CHAVES, H. M. L.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. Estimativa do abatimento de erosão aportado por um sistema agrossilvipastoril e sua contribuição econômica. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 285-293, 2007.

ROLIM, S. G.; DE CAMARGO, P. B. M.; LANIA, G. D.; DE MOARES, L. F. J. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v.66, n. 4, p. 711-720, 2007.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; DA SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, p. 1-7, 2012.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Normas sindicais e encargos sociais e trabalhistas**. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/bis/normas-sindicais-e-encargos-sociais-e-trabalhistas,9ff2eb935bcb410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2017.

SILVA, H. A.; KOEHLER, H. S.; MORAES, A.; GUIMARÃES, V. A.; HACK, E.; CAVALHO, P. C. F. Análise da viabilidade econômica da produção de leite a pasto e com suplementos na região dos Campos Gerais – Paraná. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 445-450, 2008.

SILVA, H. A.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; FONSECA, A. F.; GUIMARÃES, V. A.; MONTEIRO, A. L. G.; LANG, C. R. Viabilidade econômica da

produção de novilhas leiteiras a pasto em sistema de integração lavoura-pecuária.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 47, n. 6, p. 754-753, 2012.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2008, 2ª ed, 178 p.

SOUZA, A. N.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; REZENDE, J. L. P.;

MELLO, J. M. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2007.

VILELA, L.; JUNIOR, G. B. M.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O IMAC de 7,6309 MgC ha⁻¹ ano⁻¹ encontrado no sistema silvipastoril com eucalipto na Zona da Mata de Minas Gerais é superior ao estabelecido nas Contribuições Nacionalmente Determinadas do Brasil (0,44 MgC ha⁻¹ ano⁻¹). Com objetivo de mitigar as mudanças climáticas eles devem ser incentivados.
- A produção de leite na propriedade rural é neutra em carbono. O estoque de carbono no sistema silvipastoril foi suficiente para neutralizar as emissões de gases de efeito estufa relacionadas à produção de leite, e ao cultivo de milho, para alimentação suplementar dos animais.
- O sistema silvipastoril foi viável economicamente devido as receitas da comercialização da madeira, para lenha e serraria, no último ano. Isso evidencia que se trata de uma alternativa potencial para a região.

9. ANEXOS

Tabela 1: Custos das operações realizadas na implantação do eucalipto no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Operação	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Quantidade	Total (R\$)
Limpeza da Área e Marcação de Linhas	dh	30,67	11,50	352,65
Abertura de Covas	dh	30,67	6,50	199,33
Adubação de Plantio	dh	30,67	5,50	168,66
Adubação de Cobertura	dh	30,67	5,50	168,66
Coroamento	dh	30,67	5,00	153,33
Total (R\$)				1.042,63
Total (R\$ ha⁻¹)				219,04

dh = dias homem

Tabela 2: Custos dos insumos utilizados na implantação do eucalipto no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Insumos	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Quantidade	Total (R\$)
Mudas de Eucalipto	ud	0,43	1.544,00	663,92
Calcário	Mg	35,00	14,71	514,85
NPK (6-30-6)	Saco de 50 kg	73,50	5,22	383,67
NPK (20-00-20)	Saco de 50 kg	61,15	5,22	319,20
Formicida	Kg	10,00	9,52	95,20
Cupinicida	Kg	1500,00	0,14	214,20
Total (R\$)				2.191,04
Total (R\$ ha⁻¹)				460,30

Tabela 2: Insumos para produção de leite no sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Insumos	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Sal Mineral	kg	1,17	401,50	469,76	401,50	469,76	401,50	469,76	401,50	469,76
Farelo de Soja	Saco 50 kg	54,00	28,00	1.512,00	46,00	2.484,00	54,00	2916,00	64,00	3.456,00
Vacina Aftosa	dose	1,60	22,00	35,20	22,00	35,20	22,00	35,20	22,00	35,20
Vacina contra Raiva	dose	1,20	11,00	13,20	11,00	13,20	11,00	13,20	11,00	13,20
Vacina contra Carbúnculo	dose	0,80	11,00	8,80	11,00	8,80	11,00	8,80	11,00	8,80
Vermífugo (Ivermectin)	dose	1,66	22,00	36,52	22,00	36,52	22,00	36,52	22,00	36,52
Carrapaticidade e mosquitocida (Cipermetrina)	dose	1,25	66,00	82,62	66,00	82,62	66,00	82,62	66,00	82,62
Vacina Brucelose	dose	5,00	22,00	110,00	22,00	110,00	22,00	110,00	22,00	110,00
Brincos de Boi	ud	1,90	11,00	20,90	-	-	-	-	-	-
Total (R\$)				2.289,00	3.240,10	3.672,10	4.212,10			
Total (R\$ ha⁻¹)				480,88	680,69	771,45	884,89			

Ud= unidade

Tabela 3: Custos relativos à aquisição de animais do sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Animais	Unidade	Ano 1		Total (R\$)
		R\$ unidade ⁻¹	Quantidade	
Vacas	Animal	3.000	11	33.000,00
Total (R\$)				33.000,00
Total (R\$ ha⁻¹)				6.932,77

Tabela 4: Custos relativos aos serviços (funcionários e manutenção de máquinas) no sistema silvipastoril em Visconde do Rio Branco, MG

Serviços	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
			Q	Total (R\$)	Q	Total (R\$)	Q	Total (R\$)	Q	Total (R\$)	Q	Total (R\$)
Funcionário	R\$ mês ⁻¹	1.687,70	12,00	20.252,40	12,00	24.302,88	12,00	27.340,74	12,00	30.378,60	12,00	34.429,08
Manutenção máquinas	H a	500,00	1,00	500,00	1,00	500,00	1,00	500,00	1,00	500,00	1,00	500,00
Total (R\$)				20.752,40	24.802,88		27.840,74		30.878,60		34.929,08	
Total (R\$ ha⁻¹)				4.359,75	5.210,69		5.848,89		6.487,10		7.338,04	

H a= homem ano, Q = Quantidade

Tabela 5: Custos da terra (taxa de juros multiplicado pelo valor do hectare) referentes ao sistema silvipastoril e cultivo de milho, em Visconde do Rio Branco, MG

Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Ano 0		Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		
		Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	Quantidade	Total (R\$)	
Custo da Terra	ha	11.000,00	4,76	5.236,00	6,87	7.557,00	6,87	7.557,00	6,87	7.557,00	6,87	7.557,00
Total (R\$)			5.236,00	7.557,00		7.557,00		7.557,00		7.557,00		
Total (R\$ ha⁻¹)			1.100,00	1.587,61		1.587,61		1.587,61		1.587,61		

*Após o ano 0, a área foi de 6,87 ha, devido ao acréscimo de 2,11 ha do cultivo de milho.

Tabela 6: Custos dos equipamentos utilizados no sistema silvipastoril e/ou no cultivo de milho, em Visconde do Rio Branco, MG

Equipamentos	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Ano 1 Q	Total (R\$)	Ano 2 Q	Total (R\$)	Ano 3 Q	Total (R\$)	Ano 4 Q	Total (R\$)
Refrigerador	ud	14.500,00	-	-	-	-	1	725,00	1	725,00
Ordenha	ud	21.846,15	1	1.583,85	1	1.583,85	1	1.583,85	1	1.583,85
Trator	ud	30.000,00	1	2.175,00	1	2.175,00	1	2.175,00	1	2.175,00
Roçadeira	ud	1.689,90	1	160,54	1	160,54	1	160,54	1	160,54
Picadeira	ud	2.850,00	1	206,63	1	206,63	1	206,63	1	206,63
Ensiladeira	ud	2.000,00	1	190,00	1	190,00	1	190,00	1	190,00
Total (R\$)				4.316,01		4.316,01		5.041,01		5.041,01
Total (R\$ ha⁻¹)				906,73		906,73		1.059,04		1.059,04

Q = Quantidade

Tabela 7: Custos dos insumos referentes ao cultivo de milho para alimentação suplementar dos animais associados ao sistema silvipastoril, em Visconde do Rio Branco, MG

Insumos	Unidade	R\$ Unidade ⁻¹	Ano 1 Q	Total (R\$)	Ano 2 Q	Total (R\$)	Ano 3 Q	Total (R\$)	Ano 4 Q	Total (R\$)
Calcário	Mg	33,80	5,28	178,58	5,28	178,58	5,28	178,58	5,28	178,58
NPK (8-28-16)	Saca 50 kg	57,80	10,00	578,00	10,00	578,00	10,00	578,00	10,00	578,00
Semente de Milho	kg	19,43	20,00	388,60	20,00	388,60	20,00	388,60	20,00	388,60
Glifosato	L	24,00	12,00	288,00	12,00	288,00	12,00	288,00	12,00	288,00
Uréia	Kg	1,55	400,00	620,00	400,00	620,00	400,00	620,00	400,00	620,00
DMA	L	29,00	1,00	29,00	1,00	29,00	1,00	29,00	1,00	29,00
Atrasina	Kg	18,00	3,00	54,00	3,00	54,00	3,00	54,00	3,00	54,00
Total (R\$)				2.136,18		2.136,18		2.136,18		2.136,18
Total (R\$ ha⁻¹)				448,78		448,78		448,78		448,78

Tabela 8: Custos relacionados ao consumo de energia e diesel nas atividades do sistema silvipastoril e/ou o cultivo de milho, em Visconde do Rio Branco, MG

Outros	Unidade	R\$ Unidade⁻¹	Ano 0 Q	Total (R\$)	Ano 1 Q	Total (R\$)	Ano 2 Q	Total (R\$)	Ano 3 Q	Total (R\$)	Ano 4 Q	Total (R\$)
Luz	Kwh	0,37	3.229,30	1.194,84	2.119,85	784,34	1.983,50	733,90	2.156,00	797,72	2.159,00	798,83
Diesel	L	2,98	170,76	508,85	220,50	657,09	215,00	640,70	246,00	733,08	751,05	2.238,13
Total (R\$)				1.703,69		1.445,93		1.374,60		1.530,80		3.036,96
Total (R\$ ha⁻¹)				357,92		303,77		288,78		321,60		638,02

Q = Quantidade