

Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense

Carbon stock and methane mitigation produced by cattle in a integrated livestock-forestry system (IPF) with eucalyptus in southeast Pará State

DOI:10.34117/bjdv7n4-457

Recebimento dos originais: 23/03/2021

Aceitação para publicação: 18/04/2021

Arystides Resende Silva

Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: arystides.silva@embrapa.br

José Adérito Rodrigues Filho

Engenheiro Agrônomo, Msc., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: jose.rodrigues-filho@embrapa.br

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

³Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: eduardo.maklouf@embrapa.br

Alailson Venceslau Santiago

Meteorologista, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: alailson.santiago@embrapa.br

Carlos Alberto Costa Veloso

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: carlos.veloso@embrapa.br

Gladys Beatriz Martinez

Engenheira Agrícola, Dra., Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: gladys.martinez@embrapa.br

RESUMO

Os sistemas integrados de produção são estratégias que visam a produção sustentável, integrando atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área buscando a associação entre os diversos componentes agrícolas e do ecossistema, englobando a adequação ambiental, valorização do homem e a viabilidade econômica. Dentre os benefícios do sistema está a diminuição da emissão de CO₂ para atmosfera e consequentemente a mitigação das mudanças climáticas. Neste trabalho objetivou-se estimar o estoque de carbono do eucalipto e o seu potencial de neutralizar as emissões de metano entérico de bovino pela fixação de CO₂ no componente florestal em um sistema

pecuária-floresta (PF). Os dados foram coletados em um sistema ILPF implantado na Fazenda Mogi Guaçu, município de Paragominas – PA. Para a avaliação do estoque de carbono da espécie florestal foram realizadas duas medições aos 6,7 e 8,3 anos de idade em 4 parcelas de 924 m². Foram avaliadas 40 novilhas da raça nelore, com idade média inicial de 19 meses rotacionadas em 4 piquetes de 5 hectares, onde o período de observação foi de aproximadamente 1 ano avaliando o desenvolvimento ponderal dos animais. Observou-se que as emissões de metano pelos animais foram neutralizadas pela fixação do CO₂ eq no fuste das árvores de eucalipto, mantendo um saldo positivo de 0,1645 Mg ha⁻¹, mesmo quando considerado no balanço apenas 25% do volume útil após o desdobro em serraria.

Palavra chave: Mitigação de metano, Estoque de carbono, Produção sustentável , ILPF.

ABSTRACT

Integrated production systems are strategies that aim at sustainable production, Integrating agricultural, livestock and forestry activities, carried out in the same area, association between the various agricultural and ecosystem components, encompassing environmental adequacy, valuing man and economic viability. Among the benefits of the system is the reduction of the emission of CO₂ to atmosphere and consequently the mitigation of climate change. This work aimed to estimate the carbon stock eucalyptus and its potential to neutralize bovine enteric methane emissions by fixation of CO₂ in the forest component in a livestock-forest (PF) system. The data were collected in an ILPF system implemented at Fazenda Mogui Guaçu, municipality of Paragominas - PA. For the evaluation of the carbon stock of the forest species, two measurements at 6.7 and 8.3 years of age in 4 plots measuring 924 m². Forty heifers from the Nellore breed, with an initial average age of 19 months rotated in 4 paddocks of 5 hectares, where the observation period was approximately 1 year evaluating the development weight of the animals. It was observed that methane emissions by animals were neutralized by fixing CO₂ eq in the stem of eucalyptus trees, maintaining a balance positive of 0.1645 Mg ha⁻¹, even when only 25% of the volume is considered in the balance sheet useful after sawing.

Keyword: Methane mitigation, Carbon stock, Sustainable production, ILPF.

1 INTRODUÇÃO

O aumento de áreas degradadas, oriundas de explorações com baixos níveis tecnológico, associados ao desmatamento das reservas florestais geram enormes impactos negativos aos recursos naturais da Amazônia, influenciando na qualidade e disponibilidade de bens e serviços ambientais e conseqüentemente no bem estar da sociedade. Um dos principais responsáveis pelo desmatamento é a atividade agropecuária que está em plena expansão e tem grande importância na economia da região (Domingues & Bermann, 2012), necessitando assim a busca de alternativas para viabilizar uma agropecuária social e ambientalmente mais sustentável.

Dentre as alternativas, os sistemas integrados de produção agropecuária e florestal destacam-se como importante opção, visto que possibilitam a recuperação de áreas improdutivas, potencializando os efeitos sinérgicos existente entre as espécies vegetais e animais, favorecendo a maior produtividade de modo sustentável (Martins et al., 2011). O aumento dos rendimentos dos componentes cultivados, ocorrem pelo favorecimento e atuação dos fatores bióticos e abióticos, quando comparados aos rendimentos de espécies cultivadas separadamente (Cordeiro et al., 2015). Os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta-ILPF em suas diversas modalidades fazem parte das diretrizes políticas do Governo Federal, como um dos principais Programas Estratégicos do Plano ABC - “Plano Setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura”. Neste sentido, esses sistemas vêm sendo adotados em todo território brasileiro em diferentes formas e arranjos, mas compatíveis com a característica de cada bioma.

Dentre os benefícios destes sistemas estão a melhoria da fertilidade do solo devido ao aumento da ciclagem de nutrientes (Alvarenga et al., 2010), redução dos efeitos da erosão mantendo os teores de matéria orgânica, melhoria nos atributos físicos do solo (Salton et al., 2014), elevado potencial em sequestrar carbono (C) nos solos e nas árvores (Pulrolnik, et al., 2015), diminuição da emissão de CO₂ para atmosfera se comparado aos sistemas tradicionais e conseqüentemente mitigação das mudanças climáticas globais (Müller et al., 2009), prestando assim um valioso serviço ambiental, onde o componente florestal apresenta uma grande participação, pois além de sequestrar carbono, proporciona conforto térmico aos animais e geração de renda ao produtor com a comercialização de produtos madeireiros e não madeireiros advindos desse sistema. As espécies florestais mais utilizadas nesses sistemas são do gênero *Eucalyptus* por serem bastante estudadas e com amplo conhecimento sobre seu plantio e tratamentos culturais. Além disso, apresenta crescimento rápido e bom comportamento em diferentes regiões por dispor de clones adaptados as diversas condições edafoclimáticas do país. Além disso, a madeira é usada para energia, celulose, moveis, mourões, estacas para construções, enfim apresenta um amplo mercado consumidor.

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo estimar o estoque de carbono do eucalipto e o seu potencial de neutralizar as emissões de metano entérico de bovino pela fixação de CO₂ no componente florestal em um sistema pecuária-floresta em Paragominas, sudeste paraense, na região Amazônica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Mogi Guaçu, município de Paragominas – PA, localizada na região Sudeste do Estado do Pará a uma latitude de 2° 46' 57" S, longitude de 47° 13' 22" W e altitude de 120 metros. De acordo com Bastos et al. (2005), as condições térmicas e hídricas predominantes na região de Paragominas caracteriza “*clima quente e úmido*”, do tipo **Aw**i (clima tropical chuvoso, com expressivo período de estiagem), segundo a classificação de Köppen (1936) ou ainda como **B1wA'a'** (clima tropical úmido, com expressivo déficit hídrico) pela classificação de Thornthwaite (1948). Ainda segundo Bastos et al. (2005), o município apresenta uma média anual de temperatura em torno de 26,3 °C, variando ao longo dos meses entre 25,6 °C (fevereiro e julho) e 27,0 °C (outubro e novembro). A umidade relativa do ar apresenta média anual de 81%, oscilando entre 76% e 85% e o total pluviométrico médio anual é da ordem de 1.800 mm, oscilando entre 28 mm (agosto e setembro) a 357 mm (março). Segundo Embrapa, 2013, o solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (LVd), textura muito argilosa.

As avaliações foram realizadas em uma área de 20 hectares em um sistema IPF pastagem/árvores (Eucalipto) em filas duplas, onde foram manejados animais bovinos da raça Nelore, visando a produção de carne.

No mês de dezembro de 2010 foram aplicados a lanço na área de estudo 1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, a qual foi dividida em quatro piquetes de 5 ha cada perfazendo um total de 20 ha de área em estudo (Figura 1). A espécie florestal utilizada foi o eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clone denominado Super Clone) implantadas em janeiro de 2011 em um arranjo de filas duplas, com o espaçamento de 11 metros entre renques, 1,75 metros entre as linhas dos renques e 3 metros entre plantas na linha, resultando em 523 plantas/ha. Na cova de plantio foi utilizado 50g/planta do Super Fosfato Simples mais 120g/planta do NPK 06-30-06 com 0,5% B e 1,5 % Zn. Para adubação de cobertura foi utilizado 200g/planta da formulação NPK 20-05-20 e 50g/planta FTE BR12(micronutrientes). O controle de ervas daninhas na pastagem foi realizado antes do início do período de observação com aplicação mecanizada de herbicida.

Figura 1: Área do experimento na Fazenda Mogi Guaçu, Paragominas – PA



Foto: Ronaldo Castro.

O histórico de implantação do sistema, registra que no primeiro ano foi realizado o cultivo de milho consorciado com a braquiária, para cobertura do solo e produção de biomassa. No segundo ciclo novamente foi realizado o cultivo de milho e feita a introdução da pastagem definitiva semeando o *Panicum maximum* cv Mombaça. A adubação de base do milho foi 200 kg/ha formulação NPK 10-30-10 e na cobertura utilizou a formulação de 200 kg/ha formulação NPK 20-00-20. O consorcio milho/capim/eucalipto foi adotado somente nos dois primeiros anos, depois foi mantido apenas o capim Mombaça nas entrelinhas do eucalipto para pastejo dos animais.

Solo

Para o sistema IPF avaliado, foram inicialmente coletadas amostras de solo (deformadas e indeformadas) nas profundidades 0-10; 10- 20; 20-30; 30-40; 40-60, 60-80 e 80-100 cm, onde foram determinadas variáveis físicas e químicas do solo, as quais estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

As amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para fins de obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), utilizadas para determinação de variáveis químicas e da granulometria do solo, seguindo metodologia Embrapa (2017) e as amostra indeformadas utilizadas para determinar a densidade do solo, sendo esta determinada a partir da obtenção de massa da amostra d'vida pelo volume do cilindro aproximadamente 100 cm³, com 3 (três) repetições para cada sistema e profundidade, após secagem em estufa (Embrapa, 2017). O carbono orgânico (C.org) foi determinado segundo a metodologia descrita em Teixeira et al., 2017, que utiliza o dicromato de potássio, ácido sulfúrico concentrado e solução fosfórica a 5%, sendo a titulação feita com sulfato ferroso amoniacal. Dessa forma, obtendo-se os teores de carbono orgânico, calculou-se a matéria orgânica (MO) através da fórmula: $M.O (g.kg^{-1}) = C.org (g.kg^{-1}) 1,724$

Tabela 1: Parâmetros físicos de um Latossolo Amarelo distrófico típico em área de sistema integração pecuária-floresta (IPF) da Fazenda Mogui Guaçu, no município de Paragominas-PA.

Prof (cm)	Densidade Solo (kg.dm ⁻³)	Granulometria (g/kg)			Classe Textural
		Areia	Silte	Argila Total	
0-10	1,131	51	342	607	muito argilosa
10-20	1,171	43	344	613	muito argilosa
20-30	1,099	36	284	680	muito argilosa
30-40	1,109	28	212	760	muito argilosa
40-60	1,074	27	220	753	muito argilosa
60-80	1,160	20	227	753	muito argilosa
80-100	1,135	23	223	753	muito argilosa

Tabela 2: Caracterização química de um Latossolo Amarelo distrófico típico em área de sistema integração pecuária-floresta (IPF) da Fazenda Mogui Guaçu, no município de Paragominas-PA.

Áreas	Prof.	pH _{água}	C	MO	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	Saturação		
			(g.kg ⁻¹)		(mg.dm ⁻³)			(cmolc . dm ⁻³)					Base	Al
													V%	m%
IPF	0-10	4,9	17,13	29,55	1	20	0,4	1,0	0,5	4,56	6,09	25,68	21,87	
IPF	10-20	4,9	10,53	18,17	1	6	0,4	0,5	0,3	3,25	4,05	19,84	35,27	
IPF	20-30	5,0	8,59	14,82	1	5	0,3	0,5	0,3	3,01	3,82	21,14	29,62	
IPF	30-40	5,0	9,18	15,83	1	7	0,3	0,7	0,4	3,28	4,36	24,93	21,99	
IPF	40-60	5,1	9,05	15,62	1	5	0,2	0,6	0,3	2,85	3,74	23,72	21,36	
IPF	60-80	5,0	8,02	13,83	0	4	0,4	0,4	0,2	2,56	3,22	20,29	36,26	
IPF	80-100	5,2	4,67	8,06	0	4	0,4	0,4	0,2	2,48	3,05	19,16	39,65	

MO =Materia orgânica, P = mehlich 1, CTC = a pH 7,0.

A avaliação do estoque de CO, expresso em Mg ha⁻¹ no sistema IPF, foi obtida para cada uma das profundidades consideradas através da multiplicação da concentração do carbono orgânico (%) pela densidade do solo (g cm⁻³) e pela espessura da profundidade (cm), utilizando-se a metodologia de massa equivalente de solo, descrita por Ellert e Bettany (1995). Para o estoque total de C, foi realizado o somatório dos estoques de cada

profundidade amostrada. E para a obtenção do estoque CO₂ eq por profundidade, multiplicou-se o estoque de carbono por 3,6667, de acordo com Eggleston et al. (2006).

Floresta

Para a avaliação do estoque de carbono das árvores foram realizadas duas medições, uma em setembro de 2017 (período seco) com a idade do eucalipto de 80 meses (seis anos e oito meses o que corresponde a 6,7 anos) e a outro em maio de 2019 (período chuvoso) apresentando idade de 100 meses (oito anos e quatro meses que corresponde a 8,3 anos). A coleta de dados nas árvores foi realizada em 4 parcelas de 22 X 42 metros perfazendo um total de 924 m² cada parcela, nas quais a medição da altura (H) foi realizada com um vertex e o diâmetro à altura do peito (DAP) com fita métrica. O volume por planta (m³ árvore⁻¹) e o volume por hectare (m³ ha⁻¹) foi calculado pela equação ajustada do modelo de Schumacher e Hall (1933), de acordo com Campanha et al., (2017).

Oliveira et al. (2018), ao estimar o estoque de carbono (C) no fuste do eucalipto consideraram o teor médio de carbono de 49% e a densidade média da madeira de 0,35 Mg m⁻³, desta forma 1 m³ de madeira tem 0,17 Mg de C. Segundo Eggleston et al. (2006), pode-se considerar que 1 tonelada de C equivale a 3,6667 toneladas de CO₂ eq, assim estimando uma fixação de 0,62 Mg de CO₂ eq por m³ de madeira. A biomassa do fuste foi estimada pela multiplicação do volume pela respectiva densidade da madeira adotada, e este resultado foi multiplicado pelo teor de carbono.

Para a estimativa do estoque de madeira apta para serraria (diâmetro mínimo de 18 cm) aos dez anos de da floresta foi utilizado o Softwares SIS ILPF-eucalipto desenvolvido pela Embrapa (Oliveira et al., 2018). Não sendo prevista na simulação a realização de desbastes de árvores que poderiam alterar o estoque de madeira ao final do ciclo de produção.

Animal

Para a avaliação do protocolo de produção do projeto Carne Carbono Neutro (CCN), foram utilizadas 40 novilhas da raça nelore, com idade média inicial de 19 meses rotacionadas em 4 piquetes de 5 hectares, perfazendo um total de 20 hectares, com uma praça de alimentação central e comum, aos piquetes, para fornecimento apenas de mistura mineral comercial e água. O período de observação foi de aproximadamente 1 ano, para permitir avaliações em períodos chuvoso e seco, iniciando em abril de 2018 até abril de 2019. A taxa de lotação inicial foi próxima a 1 UA/hectare/ano sendo o período de

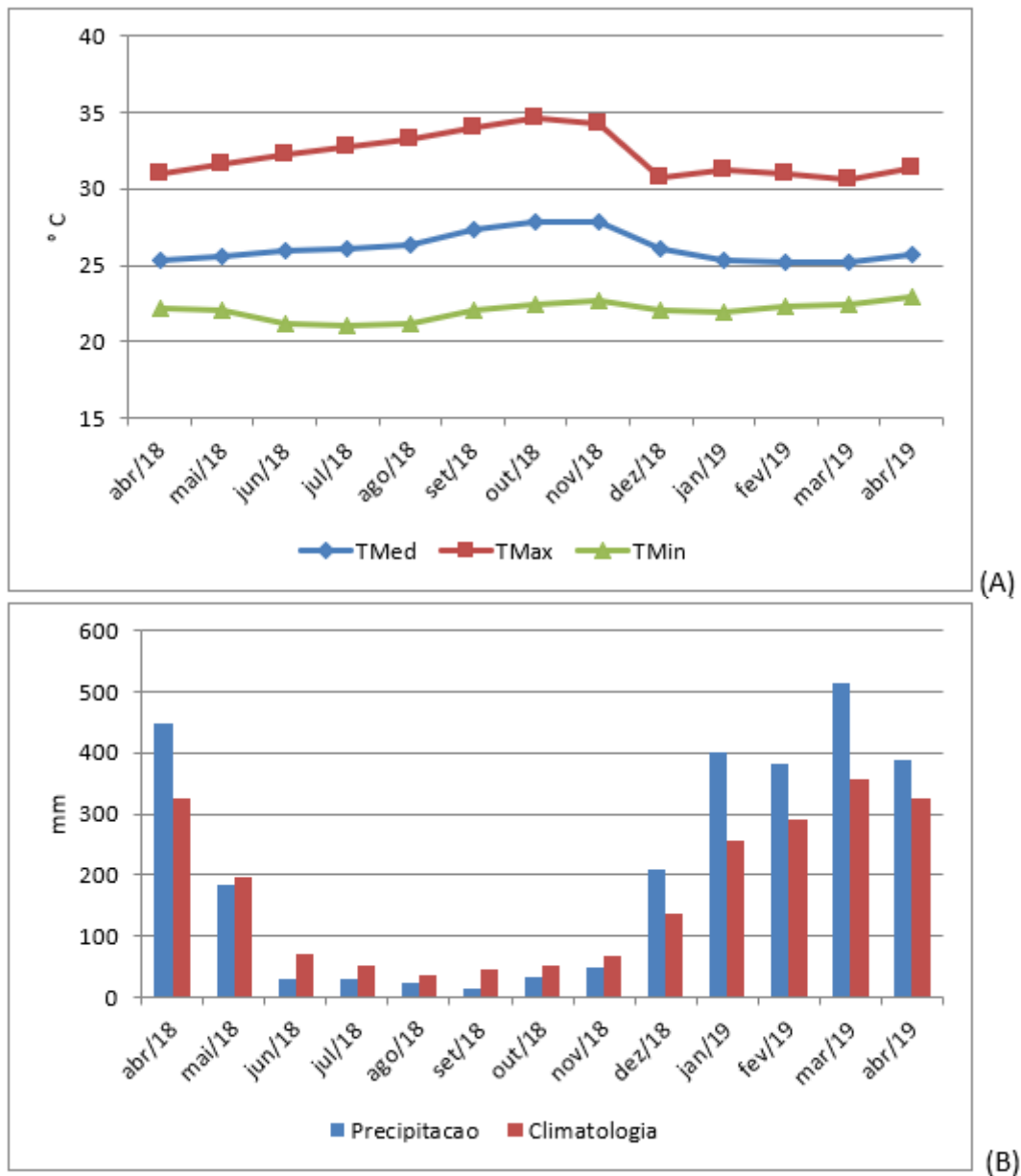
ocupação fixado em 7 dias, para permitir um descanso de recuperação da pastagem, em torno de 21 dias, onde foram observado o desenvolvimento ponderal dos animais. Esses critérios foram estabelecidos em função da estrutura oferecida pela propriedade, e procurando compatibilizar com o sistema de administração da mesma.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características Climáticas e do solo

Durante o período do estudo (abril de 2018 a abril de 2019) verificou-se uma dinâmica similar nos valores médios registrados de temperatura do ar (Figura 1 A), onde a temperatura média do período foi de 26,1 °C, oscilando entre 25,2 °C (fevereiro e março) e 27,8 °C (outubro e novembro); a temperatura máxima foi de 32,2 °C, variando durante os meses entre 30,6 °C (março) e 34,6 °C (outubro); enquanto a mínima foi de 22,1 °C, variando entre 21,0 °C (julho) e 23,0 °C (abril/19). No entanto, os totais registrados de precipitação (Figura 1 B), apesar de apresentarem uma dinâmica similar aos valores históricos, evidenciam uma possível tendência de alteração na distribuição e amplitude do regime de chuvas na região. Talvez devido a especificidade do período (abr/18 a abr/19), verificou-se que durante os meses menos chuvosos (junho a novembro) os valores registrados ficaram abaixo da média, representando apenas 7% do total precipitado, enquanto o período chuvoso (dezembro a abril) superou a média histórica da região e concentrou praticamente 85% de todo o volume precipitado no período.

Figura 1: (A) Temperatura média, máxima e mínima na Fazenda Mogui Guaçu no período de abril de 2018 a abril de 2019; (B) Precipitação pluvial média e climatologia na Fazenda Mogui Guaçu no período de abril de 2018 a abril de 2019.



Os parâmetros físicos, granulometria e densidade do solo, apresentados na Tabela 1, mostram valores de areia, silte e argila variando, respectivamente, de 20 a 51 g/kg, de 212 a 344 g/kg e de 600 a 760 g/kg ao longo do perfil, caracterizando deste modo a classe textura muito argilosa, e valores de densidade do solo variando de 1,074 a 1,171 kg.dm⁻³, valores adequados para este solo, não comprometendo o desenvolvimento das culturas envolvidas no sistema. Quanto as características químicas, apresentadas na Tabela 2, observa-se uma baixa fertilidade natural, característica dos solos da região, com pH

abaixo de 5 nos primeiros 20 cm, recomendando-se uma calagem, bem como, saturação por bases baixa, variando entre 19 e 25 % ao longo do perfil.

Na Tabela 3, são apresentadas as estimativas do estoque de carbono no solo da área em estudo. A partir destas informações foram estimadas as quantidades de CO₂ equivalente retidas no solo no sistema IPF, onde em um metro de profundidade o estoque de Carbono acumulado foi de 99,96 Mg. ha⁻¹ e o Estoque de CO₂ equivalente acumulado por hectare foi 366,54 Mg (CO₂ eq).

Tabela 3. Carbono Orgânico Total (COT), Densidade do Solo (DS), Estoque de Carbono e de Carbono Acumulado (Mg.ha⁻¹), Estoque de CO₂ equivalente e Estoque de CO₂ equivalente acumulado (CO₂ eq), por hectare, nos sistemas ILP, nas diferentes profundidades amostradas. Paragominas-PA

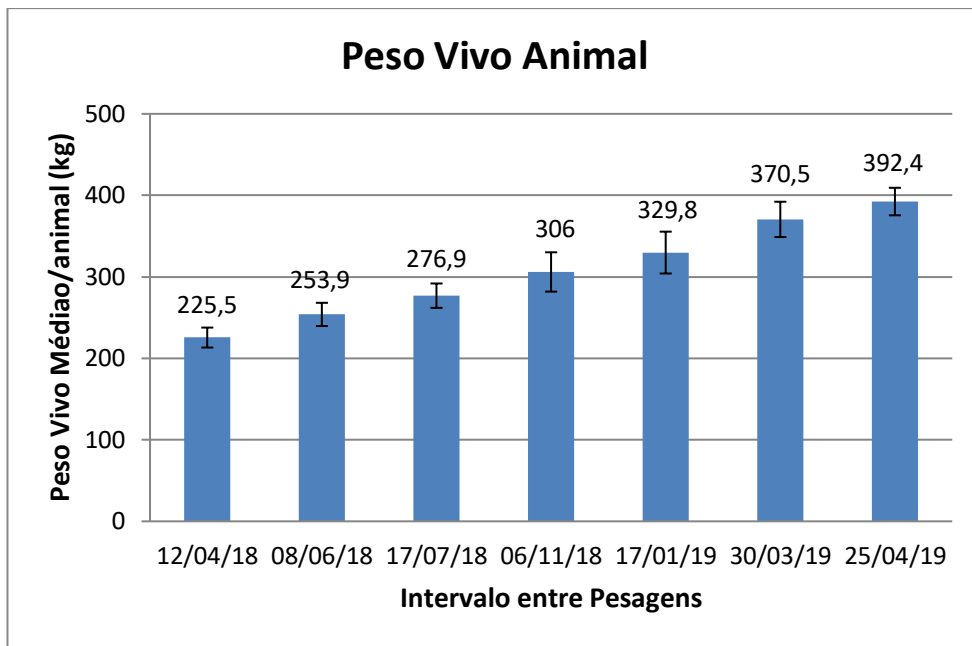
Área	Prof. (cm)	COT (g.kg ⁻¹)	Densidade Solo (kg.dm ⁻³)	Estoque de Carbono (Mg.ha ⁻¹)	Est. C Acumulado (Mg.ha ⁻¹)	Est. de CO ₂ eq* (Mg.ha ⁻¹)	Est. Acumulado CO ₂ eq* (Mg.ha ⁻¹)
IPF	0-10	17,13	1,131	19,38	19,38	71,06	71,06
IPF	10-20	10,53	1,171	12,33	31,71	45,21	116,27
IPF	20-30	8,59	1,099	9,44	41,15	34,62	150,88
IPF	30-40	9,18	1,109	10,17	51,32	37,30	188,19
IPF	40-60	9,05	1,074	19,45	70,77	71,30	259,49
IPF	60-80	8,02	1,160	18,60	89,36	68,18	327,67
IPF	80-100	4,67	1,135	10,60	99,96	38,87	366,54
TOTAL				99,96		366,54	

* Estoque de C x 3,6667

Componente Animal

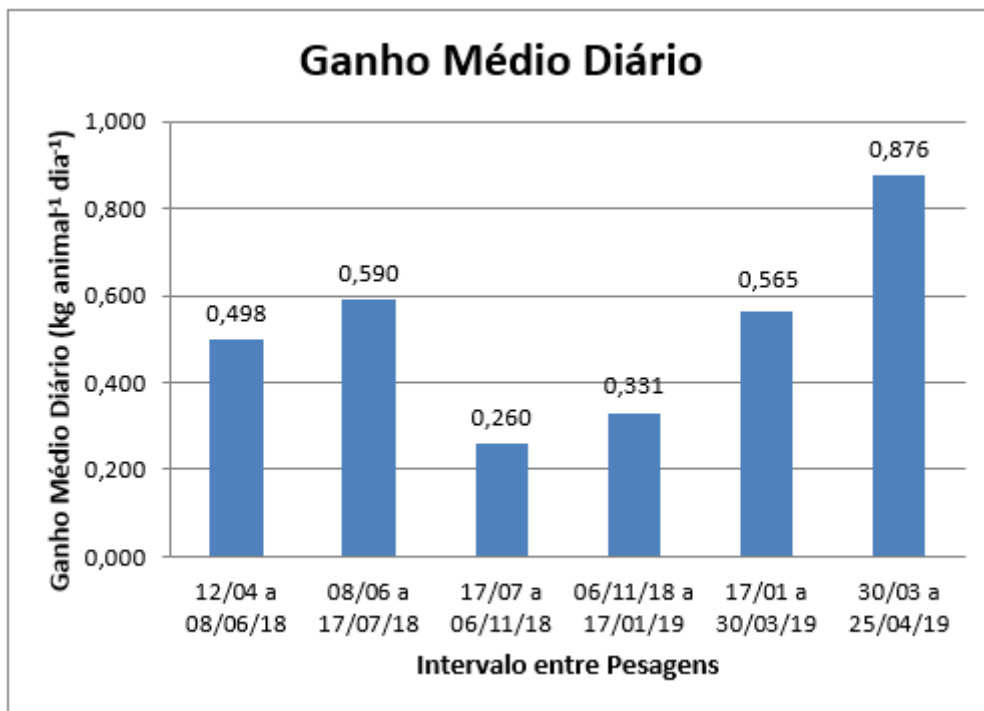
As avaliações referentes ao componente animal, no sistema estudado (IPF), foram iniciadas em 12/04/2018 no qual os animais apresentaram peso médio de 225,5 Kg +- 12,25 kg (Figura 2) e finalizadas em 25/04/2019 com peso médio de 392,4 +- 25,4, que correspondeu ao ganho de peso de 74,01% em 378 dias.

Figura 2. Evolução do ganho de peso vivo médio dos animais no sistema IPF ao longo do período avaliado.



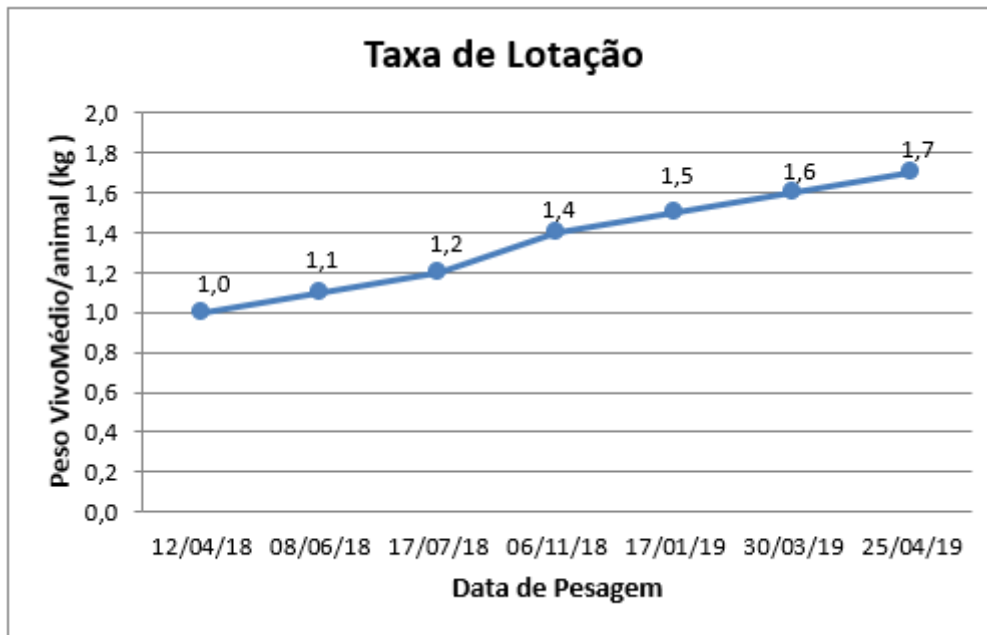
O ganho de peso médio diário no período total foi de 441,5 g, sendo de 345,2 g no período seco (junho a novembro) e 574,4 g no período chuvoso (dezembro a maio). Esses dados mostraram um rendimento de 66,4 % mais elevado no período chuvoso em relação ao período seco (Figura 3).

Figura 3. Ganho Médio Diário (GMD) de peso dos animais avaliados nos sistemas IPF ao longo do período avaliado.



O valor da taxa de lotação, como mostra a Figura 4, com um número fixo de animais (40 novilhas) manejados no sistema, iniciou com 1,0 UA/hectare em abril de 2018 terminando com taxa de lotação de 1,7 UA/hectare em abril de 2019, uma taxa de lotação média 1,4 UA/hectare.

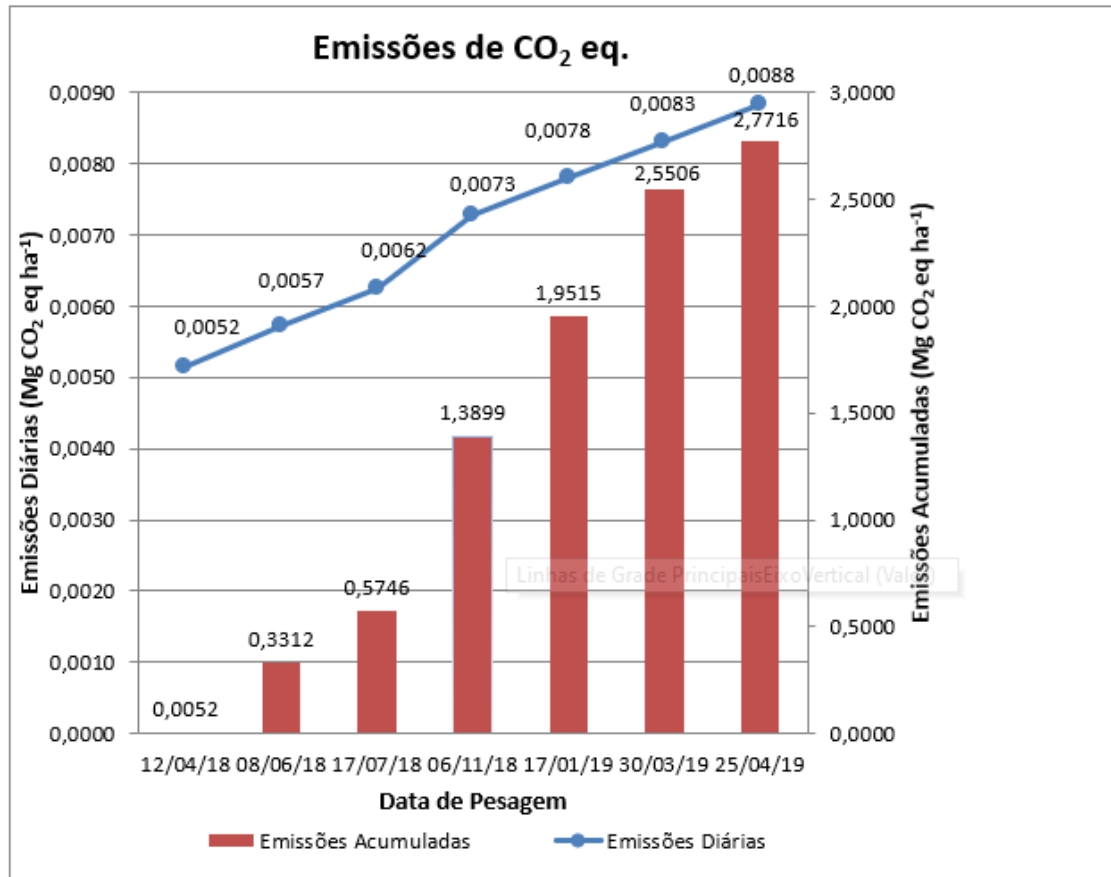
Figura 4. Evolução das Taxas de Lotação animal no sistema IPF ao longo do período avaliado.



Considerando o arranjo do sistema implantado, o manejo estabelecido para os animais na pastagem e o rendimento de ganho de peso dos mesmos, foi possível alcançar uma produção aproximada de 10,7 @/hectare/ano de peso vivo.

As emissões de CO₂ eq oriundos do metano entérico dos animais foram estimados considerando uma emissão de 66 kg de CH₄ animal⁻¹ ano⁻¹ (Embrapa 2018; Alves et al., 2015) e o potencial de aquecimento do CH₄ igual a 28 vezes o potencial de CO₂ (Myhre et al., 2013). Desta forma, 1 UA emite 1,88 Mg CO₂ eq ano⁻¹. Assim, foram estimadas para cada data de pesagem dos animais, a taxa diária de emissão de CO₂ eq por hectare e também as emissões de CO₂ eq acumuladas durante o período de avaliação, obtendo uma emissão acumulada de 2,7716 Mg CO₂ eq há⁻¹ ano⁻¹ para o sistema IPF em estudo (figura 5).

Figura 5. Emissões de CO₂ eq diárias dos animais e as acumuladas no sistema IPF no período avaliado.



Componente Florestal

O eucalipto apresentou um rápido crescimento, aos 80 meses (6,7 anos) atingiu a altura média de 21,4 metros e o DAP médio de 20,4 cm. A estimativa de volume médio por hectare foi de 134,3 m³/ha com um incremento médio anual de 20,15 m³/ha/ano, considerando 429 árvores/há e uma taxa de 80% de sobrevivência (Tabela 2). Após 20 meses (8,33 anos), o eucalipto apresentou altura média de 24,7 metros e DAP médio de 22,6 cm, um ganho de 15,42% e 10,78%, respectivamente, apresentando assim, aos 100 meses houve um ganho de 41,77% no volume médio por hectare com uma estimativa de 190,4 m³/ha, com incremento médio de 22,84 m³/ha/ano com aproximadamente 429 árvores/há um ganho de 13,39% em relação aos 80 meses de idade (Tabela2).

Tabela 2: Altura, diâmetro, volume médio e o IMA de eucaliptos aos 80 e 100 meses de idade em sistemas integrados de produção. Paragominas – PA.

Idade	Área	Altura média	DAP médio	Volume médio	IMA
	Piquete	(m)	(cm)	(m ³ /ha)	m ³ /ha/ano
80 meses (6,7 anos)	1	21,6	20,40	136,2	20,43
	2	21,5	20,10	131,9	19,79
	3	21,2	20,30	132,6	19,89
	4	21,2	20,60	136,6	20,49
	<i>Média</i>	21,4	20,4	134,3	20,15
100 meses (8,3 anos)	1	25,1	22,7	196,5	23,59
	2	24,5	22,4	186,9	22,43
	3	24,8	22,5	190,4	22,85
	4	24,2	22,6	187,6	22,51
	<i>Média</i>	24,7	22,6	190,4	22,84

Aos 80 meses de implantação no sistema de IPF, o eucalipto sequestrou da atmosfera 28,80 Mg de C ha⁻¹ e aos 100 meses, cerca de 40,81 Mg de C ha⁻¹ (Tabela 3), obtendo-se um ganho de 41,70 % no intervalo de 20 meses de avaliação. Conforme preconiza Eggleston et al.,(2006), o sistema sequestra cerca de 105,59 Mg ha⁻¹ e 149,69 Mg ha⁻¹ de CO₂ eq. aos 80 e 100 meses de idade do eucalipto, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3: Estoque de carbono e CO₂ equivalente no fuste de eucalipto e a taxa de lotação potencialmente neutralizada aos 80 e 100 meses de idade para o sistema integrado IPF com eucalipto na região sudeste paraense. Paragominas – PA.

Idade	Área Piquete	Estoque de carbono (Mg de C ha ⁻¹)	Estoque de CO ₂ eq (Mg de CO ₂ eq)
80 meses (6,7 anos)	1	29,20	107,07
	2	28,28	103,69
	3	28,43	104,24
	4	29,28	107,38
	<i>Média</i>	28,80	105,59
100 meses (8,3 anos)	1	42,14	154,50
	2	40,07	146,91
	3	40,82	149,66
	4	40,21	147,45
	<i>Média</i>	40,81	149,63

Segundo Eggleston et al. (2006) um animal bovino (1 UA Unidade Animal ou 450 kg de peso vivo) em média emite 1,88 Mg ha⁻¹ de CO₂ eq ano⁻¹. Assim, com base na fixação de CO₂ eq pelas árvores foram calculados os gases emitidos pelos bovinos no

período da experimentação e estimado o quanto que a espécie florestal pode neutralizar desses gases emitidos pelos bovinos e determinado o saldo CO₂ eq fixado no fuste das árvores no sistema (tabela 4).

Pode-se observar que durante a avaliação da experimentação do sistema integrado (IPF) implantado no arranjo 11 metros x 3 metros x 1,75 metros, que apresentou uma sobrevivência de 80 %, com um total de 429 árvores/há é capaz de neutralizar a emissão de CH₄ em cerca de 6,06 UA ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 4). Esta neutralização ocorreu devido ao rápido desenvolvimento das árvores durante o período de avaliação, em média 22,84 m³ ha⁻¹ ano. Quando considerado todo o período de crescimento da espécie florestal, o carbono sequestrado no fuste das árvores nos 190,4 m³ médios de madeira por hectare seria capaz de neutralizar a emissão de metano entérico de 50,5 UA de bovinos adultos no período de 8,3 anos, correspondendo à neutralização de 6,06 UA ha⁻¹ ano⁻¹ valor muito acima da Taxa de Lotação média da fazenda que foi de 1,4 UA ha⁻¹ (Figura 4). Em um estudo no cerrado Campanha et. al. (2017) avaliando aos 60 meses um sistema ILPF de 333 árvores/ha de eucalipto implantados em um arranjo de 15 x 2m, encontrou um potencial de neutralização de emissão de metano de 5,81 UA há ano⁻¹, ou seja 29 UA em cinco anos. Esses resultados corroboram com a opinião de Alves et al. (2015) que o Brasil tem um grande potencial de mitigação de GEES em sistemas integrados com árvores de rápido crescimento. A exemplo disso, o eucalipto plantado com densidade de 250 a 350 árvores/há, são capazes de produzir 25 m³/ha/ano o qual sequestra anualmente cerca de 5 t ha de C, o que equivale à neutralização da emissão de GEEs de cerca de 12 UA.

Tabela 4: Estande atual, volume e incremento médio anual de madeira, quantidade de CO₂ eq fixado por m³ de madeira e por hectare, e balanço entre emissão e fixação de CO₂ eq ha⁻¹ no período avaliado.

Áreas	Estande	Volume de madeira (m ³ ha ⁻¹)		Incremento Médio Anual*	CO ₂ Fixado no fuste	CO ₂ eq Fixado no fuste
		2017	2019			
Piquete	(Árvores ha ⁻¹)			(m ³ ha ⁻¹)	(Mg m ⁻³)	(Mg ha ⁻³)
1	441	136,2	196,5	23,59	0,62	14,6232
2	416	131,9	186,9	22,43	0,62	13,9053
3	441	132,6	190,4	22,85	0,62	14,1655
4	416	136,6	187,6	22,51	0,62	13,9559
Média	429	134,3	190,4	22,84	0,62	14,1625
Emissão de CO ₂ por bovinos acumulada no período (Mg ha-1)						2,7716
Saldo de CO ₂ eq. fixado no fuste das árvores no Período (Mg ha-1)						11,3909

* Aos 100 meses (8,3 anos)

Para que ocorra o estoque de carbono no componente arbóreo, parte da madeira produzida deve ser transformada em produtos com um maior valor agregado, ou seja, madeira destinada para serraria, tanto para a construção de moveis ou roliça para construção civil, tendo assim uma maior vida útil e conseqüentemente um maior tempo de imobilização do carbono (Alves et al., 2015). Assim, para a validação do protocolo CCN, assume-se que apenas 25% do volume de madeira apto para serraria (diâmetro na ponta mais fina acima de 18 cm) deve ser utilizado no cálculo da neutralização de GEEs.

Na Tabela 5 é apresentada a estimativa do estoque de madeira para serraria aos dez anos da floresta com uma produção média de 186 m³ de madeira com diâmetro mínimo de 18 cm aos 10 anos de idade. Os dados foram obtidos utilizando-se o aplicativo SIS ILPF-Eucalipto (Oliveira et al., 2018), obtendo assim um volume anual útil de 4,67 m³ o que corresponde aos 25% do volume anual aptos para a serraria determinado para a validação do protocolo de CCN. Esse volume fixa 2,9361 Mg de CO₂ eq.

Tabela 5: Estimativa do estoque de madeira para serraria aos dez anos da floresta, volume útil de madeira serrada, potenciais de fixação de CO₂ eq pela madeira e balanço de neutralização da emissão de metano entérico de bovinos no sistema IPF avaliado. Paragominas – PA.

Áreas	Madeira p/serraria ¹	Volume médio anual ²	Volume anual útil p/serraria ³	CO ₂ eq fixado ⁴	Potencial médio de neutralização
Piquete	(m ³ ha ⁻¹)			(Mg ha ⁻³)	(Mg ha ⁻³)
1	197	19,7	4,93	3,0970	1,6
2	185	18,5	4,63	2,9086	1,5
3	185	18,5	4,63	2,9086	1,5
4	180	18,0	4,50	2,8300	1,5
Média	186	18,6	4,67	2,9361	1,6
Emissão de CO ₂ por bovinos acumulada no período (Mg ha ⁻¹)				2,7716	
Saldo de CO ₂ eq. fixado no fuste das árvores no Período (Mg ha ⁻¹)				0,1645	

¹ Estoque de madeira com diâmetro mínimo de 18 cm aos 10 anos; ² Volume apto para serraria aos 10 anos dividido por 10 anos; ³ 25% do volume anual apto para ser serrado; ⁴ Mg CO₂ eq fixado = volume x (Dens. Básica: 0,35)x(%C:0,49)x(CO₂:3,6667)

O sistema avaliado em relação a mitigação estimada de CO₂ eq é positiva, neutralizando as emissões de metano entérico dos bovinos e ainda mantendo um saldo de 0,1645 Mg ha⁻¹ (Tabela 5), bem como apresenta um potencial de neutralização de 1,6 UA ha⁻¹ e taxa de lotação animal média no período de 1,4 UA ha⁻¹. Esses resultados corroboram com Gontijo Neto et al. (2018), o qual em um estudo realizado no cerrado brasileiro localizado em Minas Gerais, concluiu que o sistema IPF apresentou uma mitigação estimada de CO₂ eq positiva, tendo neutralizado as emissões de metano entérico dos bovinos e mantendo um saldo de 0,1370 Mg ha⁻¹.

4 CONCLUSÃO

Nesse sistema IPF na Fazenda Mogi Guaçu, em Paragominas-Pará, as emissões de metano pelos animais foram neutralizadas pela fixação do CO₂ eq no fuste das árvores de eucalipto, mantendo um saldo positivo de 0,1645 Mg ha⁻¹, mesmo quando considerado no balanço apenas 25% do volume útil após o desdobro em serraria.

AGRADECIMENTOS

Aos proprietários da Fazenda Mogui Guaçu, Simon Bolívar da Silveira Bueno Filho e Berenice Siqueira da Silveira Bueno pelo apoio, disponibilização da área experimental e disponibilização dos animais, ao administrador da Fazenda Marcus Ubiratan Almeida Vieira pelo apoio e dedicação ofertado durante a condução do trabalho, ao técnico da Embrapa Amazônia Oriental Ronaldo Dias Castro pelo apoio e dedicação na condução do trabalho e a Embrapa pelo suporte ao Projeto: “Carne Carbono Neutro: estratégia de produção de carne sustentável e certificável para um mercado global” (SEG 33.13.11.004.00.00).

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R.C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, M.C.M.; VILELA, L. Sistema integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, v.31, p.59-67, 2010.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. **Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015. 32 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

BASTOS, T. X et al. Características agroclimáticas do município de Paragominas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 21p. (Documento, 228).

CAMPANHA, M.M.; COSTA, T. C. C.; GONTIJO NETO, M. M. **Crescimento, Estoque de Carbono e Agregação de Valor em Árvores de eucalipto em um Sistema de Integração lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Cerrado de Minas Gerais. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 24p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 157).**

CORDEIRO, L. A. M.; BALBINO, L. C.; GALERANI, P. R.; DOMIT, L. A.; SILVA, P. C.; KLUTHCOUSKI, J.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SKORUPA, L. A.;

WRUCK, F. J. **Transferência de Tecnologias para Adoção da Estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.;

KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 377-393. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo v.15, n.2, p.1-22, mai-ago, 2012.

EGGLESTON, S.; BUENDIA, K. M.; NGARA, T.; TANABE, K. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Kanagawa: iGES, 2006. v. 4.**

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília-DF, Embrapa, 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rer. e ampl. Brasília, Embrapa, 2017. 574p.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C.C.; SIMÃO, E.P.; ALMEIDA, R.G.; ALVES, F. V.; SILVA, V. P. **Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Sistema de Integração pecuária-floresta e Potencial de produção de Carne Carbono Neutro Fazenda Lagoa dos Currais,**

Curvelo - MG. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 17p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 230).

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate – KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): Handbuch der Klimatologie – Gebrüder Bornträger, Berlin, 1, 1–44, part C, 1936.

MARTINS, C. E.; LIMA, V. M. B.; HOTT, M. C.; FURTADO, T. B.; BALBINO, L. C.; A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e sua Importância para o Agronegócio Brasileiro. 2011. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/9412/1/ARTIGO_A%20integra%C3%A7%C3%A3o%20lavourapecu%C3%A1riafloresta%20e%20sua%20import%C3%A2ncia%20para%20o%20agroneg%C3%B3cio%20brasileiro..pdf> Acesso em: 23/09/2019.

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

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F. M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; KOCH, D.; LAMARQUE, J. F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA,

T.; ROBOCK, A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). *Climate Change 2013: the physical science basis.* Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 659-740. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

OLIVEIRA, E. B. de; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; RIBASKI, J. SisILPF: software para simulação do crescimento, produção, metano e manejo do componente florestal em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. **Anais.** Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 127-133.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; LEMOS, R. L.; SOUZA, K. W. Soil carbon stocks in integrated crop-livestock-forest and integrated crop-livestock systems in the Cerrado region. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM, 1.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. *Proceedings...* Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 314.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENCO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, June 2014.

SALTON, J. C.; OLIVEIRA, P.; TOMAZI, M.; RICHETTI, A.; BALBINO, L. C.; FLUMIGNAM, D.; MERCANTE, F.M.; MARCHÃO, R. L.; CONCENÇO, G.; SCORZA JUNIOR, R. P.; ASMUS, G. L. Benefícios da adoção da estratégia de Integração Lavoura-Pecuária- Floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L;

KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 35-51 p. 2015.

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

SILVA, H.D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex- maiden) em diferentes idades**. UFPR, Tese de Doutorado. 1996. 101p.

TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W.G., 2017. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª ed. Brasília, Embrapa, p. 573.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Rev.*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.