



Sequestro de CO₂ em Árvores de Eucalipto no Sistema ILPF



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
244**

**Sequestro de CO₂ em Árvores de
Eucalipto no Sistema ILPF**

*Thomaz Correa e Castro da Costa
Mônica Matoso Campanha
Miguel Marques Gontijo Neto*

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2022

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Maria Marta Pastina

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria Cristina Dias Paes.

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa
Thomaz Correa e Castro da Costa

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Costa, Thomaz Correa e Castro da.

Sequestro de CO₂ em árvores de eucalipto no sistema ILPF / Thomaz Correa e Castro da Costa, Mônica Matoso Campanha, Miguel Marques Gontijo Neto. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

PDF (29 p.) : il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154 ; 244).

1. Árvore. 2. Eucalipto. 3. Carbono. 4. Sistema de cultivo. 5. Agricultura sustentável. I. Campanha, Mônica Matoso. II. Gontijo Neto, Miguel Marques. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 634.973

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão	11
Crescimento do eucalipto em ILPF sem e com desbaste.....	16
Sequestro de CO ₂ e Fixação de Carbono.....	17
Considerações Finais.....	25
Agradecimentos.....	26
Referências.....	26

Sequestro de CO₂ em Árvores de Eucalipto no Sistema ILPF

Thomaz Correa e Castro da Costa¹

Mônica Matoso Campanha²

Miguel Marques Gontijo Neto³

RESUMO - Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) têm sido adotados em diferentes regiões do País como estratégia de intensificação sustentável e tecnologia para mitigação de emissões do carbono do setor agropecuário. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o sequestro de carbono em árvores de eucalipto em sistemas ILPF implantados na região do Cerrado mineiro. Foram acompanhadas três Unidades de Referência Tecnológica (URT) de ILPF durante 12 anos. As árvores de eucalipto nas URTs foram plantadas no espaçamento de 15 m x 2 m para um estande de 333 árvores por hectare e sofreram desbaste de 50%, ficando com 166 árvores.ha⁻¹. Os plantios foram mensurados anualmente, pelo Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e pela altura (m), para avaliação de crescimento, produção e cálculo da fixação de carbono no fuste das árvores. A produção de eucalipto em Sistema ILPF, com 333 árvores.ha⁻¹, pode apresentar a produção de até 290 m³.ha⁻¹ em 10 anos e, após o desbaste, com 166 árvores.ha⁻¹, de até 245 m³.ha⁻¹. Em 10 anos os plantios sem desbaste capturaram 191,9 e 176 Mg.ha⁻¹ de CO₂, nas diferentes URTs, comparando com 102,9 e 122,9 Mg.ha⁻¹ de CO₂ dos plantios sob desbaste. A média de CO₂ capturado pelas árvores foi próxima de 18 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, enquanto no plantio com desbaste esta média caiu para 12,8 Mg.ha⁻¹. A capacidade das florestas de rápido crescimento para sequestrar CO₂ da atmosfera oferece uma oportunidade para manejadores de florestas plantadas e de sistemas de ILPF contribuírem para mitigação de gases de efeito estufa visando o mercado de créditos de carbono.

Termos para indexação: carbono, gases de efeito estufa, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, inventário florestal, produção

¹ Engenheiro Florestal, Dr. em Sensoriamento Remoto ligado a Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.

² Engenheira Agrônoma, Dr. em Fitotecnia (Produção Vegetal), pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo

³ Engenheiro Agrônomo, Dr. em Zootecnia, área de concentração em Forragicultura e Pastagens, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo

CO₂ sequestration in eucalyptus trees planted in Integrated Crop-Livestock-Forest System

ABSTRACT—The Integrated Crop-Livestock-Forest (ICLF) systems have been adopted in different regions of the country as a sustainable intensification strategy and technology for mitigating carbon emissions from the agricultural sector. In this sense, the objective of this work was to evaluate carbon sequestration in eucalyptus trees planted in ICLF systems, in the Cerrado region of Minas Gerais, Brazil. Three ICLF Technological Reference Units (URT) were monitored for 12 years. The eucalyptus trees in the URTs were planted in 15 m x 2 m for a stand of 333 trees per hectare and were thinned by 50%, remaining 166 trees.ha⁻¹. Plantations were measured annually, by DBH and height, to assess growth, production and carbon fixation. The ICLF system with 333 trees.ha⁻¹ can produce up to 290 m³.ha⁻¹ in 10 years, and after thinning, with 166 trees.ha⁻¹, up to 245 m³.ha⁻¹. In 10 years, plantations without thinning captured 191.9 and 176 Mg of CO₂ per ha, in the different URTs, compared with 102.9 and 122.9 Mg.ha⁻¹ of CO₂ from plantations under thinning. The average CO₂ captured by the trees was close to 18 Mg.ha⁻¹.year⁻¹, while in thinning planting this average dropped to 12.8 Mg.ha⁻¹.year⁻¹. The ability of fast-growing forests to sequester CO₂ from the atmosphere provides an opportunity for managers of planted forests and ICLF systems to contribute to greenhouse gases mitigation, reaching the carbon credit market.

Index terms: carbon, greenhouse gases, Integrated Crop-Livestock-Forest, forest inventory, production

Introdução

O uso da terra com diversidade de espécies, consorciando uma ou mais culturas simultaneamente em sistemas de integração, pode aumentar a produtividade, além de outros benefícios como a melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, aumento de renda e menor dependência do clima (Cordeiro et al., 2015).

No componente “diversidade” as árvores prestam importantes serviços ambientais, dentre eles a ciclagem de nutrientes na camada superficial e subsuperficial do solo, e a absorção de CO₂ da atmosfera (o sequestro de carbono), sendo este o serviço mais conhecido e foco de políticas para compensação de gases do efeito estufa, por meio de créditos de carbono (Torres et al., 2017).

Em florestas plantadas, pesquisas no tema Gases de Efeito Estufa (GEE) abordam a partição de carbono no sistema florestal (lenho, casca, folhas, galhos, raízes e manta orgânica) (Vieira; Rodriguez-Soalleiro, 2019; Gatto et al., 2011).

Em sistemas de produção diversificados existem experiências de consórcio entre lavouras, pastagens e/ou árvores para a intensificação do uso da terra e produção agropecuária de forma sustentável, mas as mais difundidas são a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e os Sistemas Agroflorestais (SAFs). Diferentes regiões do País têm adotado os sistemas ILPF (Gontijo Neto et al., 2014; Franchini et al., 2015; Manzatto et al., 2019; Silva et al., 2021), tendo como principais benefícios, além da viabilidade econômica, o incremento de matéria orgânica no solo (MOS), o sequestro de carbono e o conforto térmico aos animais em decorrência da presença do componente florestal (Franchini et al., 2015; Torres et al., 2017; Gontijo Neto et al., 2018).

No componente florestal destes sistemas de integração, o eucalipto (*Eucalyptus* sp.) é a espécie predominante por apresentar rápido crescimento, característica importante quando se considera a liberação da área para o pastejo e por possuir uma arquitetura de copa compatível com a consorciação com outras culturas. Esta espécie se destaca ainda por já possuir manejo silvicultural validado, disponibilidade de cultivares adaptadas regionalmente que favorecem sua capacidade de adaptação a diferentes condições edafo-

climáticas e biomas brasileiros, e possibilidade de produção de madeira para usos múltiplos.

Os sistemas de ILPF também foram reconhecidos pelo governo brasileiro como tecnologia de baixa emissão de carbono, definida no Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). O Plano ABC foi elaborado para o setor agropecuário com o objetivo de cumprir os compromissos assumidos em conferências internacionais de redução da emissão de GEE (Brasil, 2012). A intensificação e integração produtivas, com aumento da produção e produtividade e diminuição das emissões de GEE, como os sistemas ILPF, constituem uma estratégia importante para mitigar as emissões do setor agropecuário e valorizar o produto brasileiro no mercado internacional, ao mesmo tempo que ajuda a reduzir a pressão do desmatamento (Manzatto et al., 2019).

Cabe também ressaltar que a implementação de sistemas ILPF, como o analisado neste trabalho, encontra-se alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), mais especificamente, em relação ao atendimento à meta 2.4 “Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo”, e à meta 13.2 “Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais”. Isso acontece porque o trabalho contempla um modelo de produção em sistema ILPF no Cerrado da região Central de Minas Gerais, estabelecendo tecnologias de manejo para intensificação do uso da terra, aumento da produção agropecuária de forma sustentável, e redução da emissão de gases de efeito estufa.

Dentre as pesquisas realizadas pela Embrapa com ILPF, uma das unidades demonstrativas com maior período de monitoramento está implantada na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais, sendo este estudo uma atualização dos resultados apresentados em Campanha et al. (2017).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o sequestro de CO₂, referente à fixação de carbono no fuste das árvores de eucalipto, em sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), consorciado com pastagem, na região do Cerrado, em Sete Lagoas-MG, e comparar seus resultados com os de outras pesquisas.

Material e Métodos

Em 2009, 2011 e 2013 foram implantadas Unidades de Referência Tecnológica (URT) de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), com 1 ha cada na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais, latitude 19°29'6''S e longitude de 44°10'46''W, altitude de 708 m. O componente florestal foi composto por renques de eucalipto (híbridos de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T Blake linhagens GG100) (Figura 1).



Figura 1. Imagem aérea das URTs implantadas em 2009, 2011 e 2013 no sistema ILPF, Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais. (Fonte: Google Maps (2022).

O clima da região de Sete Lagoas-MG é estacional, do tipo Cwa, com estação seca no inverno (maio a outubro). A precipitação média anual é de 1.335 mm, em que cerca de 70% desta ocorre entre outubro e fevereiro (Peel et al., 2007). Plantios de eucalipto nesta região não exigem irrigação, mas foi preciso irrigar no primeiro ano por ter sido plantado tardiamente, no início

de fevereiro de 2009. Os plantios seguiram as recomendações de adubação para uma produção potencial.

O eucalipto foi plantado inicialmente no espaçamento 15 m x 2 m em três datas: a primeira em 05/02/2009 (ILPF CNPMS 2009), a segunda em 24/10/2011 (ILPF CNPMS 2011) e a terceira em 29/10/2013 (ILPF CNPMS 2013). Os plantios de 2009 e 2011 foram submetidos a um desbaste sistemático de 50%, em metade da área, em 2015, iniciando com 333 árvores por hectare e finalizando com 166 árvores após o desbaste (Figura 2).

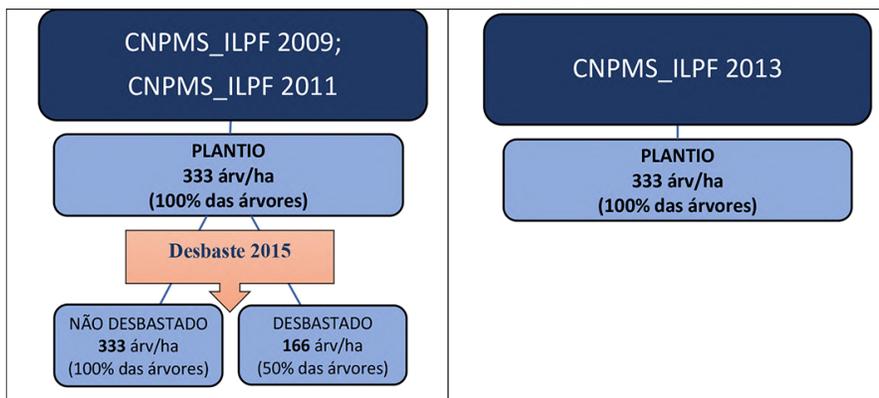


Figura 2. Densidade dos plantios de eucalipto em Sistema de ILPF nos anos de 2009, 2011 e 2013, sem intervenção e após intervenção do desbaste em 2015 (o plantio de 2013 não sofreu desbaste neste período), Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Os plantios foram mensurados anualmente por meio de um inventário florestal contínuo (IFC) para avaliação de crescimento e produção. Em cada renque selecionou-se uma a cada 10 árvores, amostrando-se 40 árvores por sistema, mensuradas no diâmetro a 1,3 m de altura (DAP em cm) e na altura total (ht em m). Os períodos de mensuração de ambos os sistemas estão informados na Tabela 1.

Tabela 1. Datas e meses de mensuração do IFC para Sistemas de ILPF, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

ILPF CNPMS 2009		ILPF CNPMS 2011		ILPF CNPMS 2013	
Data	Meses	Data	Meses	Data	Meses
05/02/2010	12,0	06/12/2013	25,8	11/10/2016	35,4
25/05/2011	27,6	13/11/2014	37,2	21/11/2017	48,8
04/06/2012	39,9	08/09/2015	46,5	27/11/2018	60,9
24/04/2013	50,6	26/11/2015	49,8	18/07/2019	68,6
27/05/2014	63,7	*03/10/2016	60,2		
09/07/2015	77,1	*21/11/2017	74,0		
*03/10/2016	92,0	*27/11/2018	86,4		
*14/08/2017	102,3	*12/11/2019	98,0		
*29/05/2018	111,8	*19/11/2020	108,9		
*15/05/2019	123,3	*09/12/2021	121,6		
**08/09/2020	139,2				
**01/09/2021	150,9				

*Datas de avaliação sem desbaste e com desbaste (em 2015 a área foi dividida na metade para intervenção do desbaste).

**Datas de avaliação com desbaste somente (área sem desbaste sofreu novo desbaste).

Os dados mensurados foram importados por um algoritmo de prognose de florestas, implementado em VBA, onde extraíram-se as variáveis para avaliação da fixação de carbono no fuste e sua respectiva captura de CO₂ ao longo do crescimento de 12, 10 e 6 anos para os plantios em 2009, 2011 sem e com desbaste, e 2013 respectivamente (Costa et al., 2021).

O carbono estocado na biomassa (fuste) do eucalipto foi calculado por uma densidade média da madeira de 0,45 Mg.m⁻³ e um teor médio de 40% de carbono (Franchini et al., 2015).

Resultados e Discussão

A Tabela 2 reúne resultados obtidos no presente trabalho e outros resultados de referências bibliográficas. A comparação é feita com plantios de eucalipto, em monocultura e em sistema ILPF, com o intuito de explorar as variações do sequestro de CO₂ em função da idade, desprezando os efeitos da densidade, do sítio, do clima, do material genético e do manejo realizado em cada sistema.

O carbono avaliado no fuste representa aproximadamente 90% de todo o carbono retido na parte aérea das árvores. As raízes e a manta orgânica (serapilheira) participam com 33% de todo o carbono estocado na floresta (Paixão et al., 2006), ou seja, o carbono fixado no fuste representa aproximadamente 60% do total. Dessa forma, o incremento em carbono avaliado por um inventário florestal pode fornecer não só uma estimativa do carbono fixado no fuste, mas também, indiretamente, uma aproximação do carbono armazenado nas raízes. Os demais componentes na floresta como folhas, galhos e manta orgânica, têm uma dinâmica de mineralização mais rápida (ciclagem de nutrientes), sendo mais difícil separar sua contribuição no estoque de carbono, por causa da atividade microbiana e fatores não biológicos (Costa et al., 2016).

Tabela 2. Idade (meses), espaçamento (m), estande (número de plantas.ha⁻¹), diâmetro médio ou média de diâmetros à altura do peito (Dap, cm), altura média (Ht, m) ou altura dominante (Hd, m), volume por hectare (V, m³.ha⁻¹), biomassa em Mg.ha⁻¹, Mg de carbono (C), e Mg de CO₂ sequestrado por ha em plantios de eucalipto em monocultura (FlorPlant) e em renques (ILPF).

Arranjo	Idade	Esp (m)	(n ^o plts)	Dap ou Dg cm	Ht ou Hd m	V m ³ .ha ⁻¹	Mg.ha ⁻¹	C Mg.ha ⁻¹	CO ₂ Mg.ha ⁻¹	Autor
FlorPlant	24	3X2	1666	-	-	63,6	28,6	14,842	54	1
FlorPlant	36	3X2	1666	-	-	75,5	34	25,416	93	1
FlorPlant	48	3X2	1666	-	-	86,2	38,8	37,174	136	1
FlorPlant	60	3X2	1666	-	-	95,4	42,9	48,824	179	1
FlorPlant	72	3x2	1666	-	-	204,1	91,8	42,9	157	2
FlorPlant	72	3X2	1666	-	-	107,1	48,2	60,192	221	1
FlorPlant	84	3X2	1666	-	-	121,1	54,5	71,018	261	1
FlorPlant	96	3X2	1666	-	-	134,8	60,6	80,996	297	1
FlorPlant	108	3X2	1666	-	-	147,3	66,3	90,072	331	1
FlorPlant	120	3,5x2,5	1043	20,2	28,7	366,9	165,1	103,4	379	3
FlorPlant	120	3X2	1666	-	-	159,5	71,8	98,406	361	1
ILPF	25	10x2	500	9,812	10,212	19,8	8,9	3,6	13	4
ILPF	28	10x4	247	14,2	11,8	19,9	9	3,6	13	5
ILPF	28	10x4	245	14,3	11,1	19,6	8,8	3,5	13	5
ILPF	38	10x3	333	16,2	15,1	41,6	18,7	7,5	27	6
ILPF	38	10x4	250	17,2	14,3	33,3	15	6	22	6
ILPF	50	14x2,5	272	-	-	46	20,7	8,3	30	7
ILPF	51	10x3	333	20,2	22,4	95,8	43,1	17,2	63	6
ILPF	51	10x4	250	20,7	21,5	72,8	32,8	13,1	48	6
ILPF	25	15X2	333	11,3	12,2	18,2	8,2	3,3	12	8
ILPF	28	15X2	333	14,4	15,4	42	18,9	7,6	28	8
ILPF	35	15X2	333	12,7	15	24,4	11	4,4	16	8
ILPF	37	15X2	333	14,3	15,6	36	16,2	6,5	24	8
ILPF	40	15X2	333	18	19,9	81,6	36,7	14,7	54	8
ILPF	47	15X2	333	17,5	20,2	71,8	32,3	12,9	47	8
ILPF	49	15X2	333	15,7	18,8	47,9	21,5	8,6	32	8
ILPF	49	15X2	333	17,8	20	73,9	33,3	13,3	49	8
ILPF	51	15X2	333	19,7	22,8	108,2	48,7	19,5	71	8
ILPF	59	15X2	333	18	22	83,4	37,5	15	55	8
ILPF	61	15X2	333	18,7	22,6	83,3	37,5	15	55	8
ILPF	64	15X2	333	20,9	23,9	126,4	56,9	22,8	84	8
ILPF	69	15X2	333	20,3	22,8	98,6	44,4	17,7	65	8
ILPF	73	15X2	333	19,2	24,6	103,5	46,6	18,6	68	8
ILPF	77	15X2	333	23,6	27,5	180,9	81,4	32,6	119	8
ILPF	85	15X2	333	21,3	27,3	140,1	63,1	25,2	93	8
ILPF	92	15X2	333	23,4	31	195,1	87,8	35,1	129	8
ILPF	97	15X2	333	22,1	27,9	153,8	69,2	27,7	102	8
ILPF	102	15X2	333	24,5	30,4	206,1	92,7	37,1	136	8
ILPF	109	15X2	333	24,4	31,4	208,8	94	37,6	138	8
ILPF	112	15X2	333	26,6	31,6	252,2	113,5	45,4	167	8
ILPF	122	15X2	333	26,1	35,7	266,7	120	48	176	8
ILPF	123	15X2	333	27,4	36,3	290,5	130,7	52,3	192	8
ILPF ^{13,14}	48	10x4	250	20,3	22	71,6	32,2	12,9	47	9
ILPF ^{13,14}	60	10x4	250	21,9	22	96,6	43,5	17,4	64	9
ILPF ^{13,14}	72	10x4	250	23	22	114	51,3	20,5	75	9
ILPFd	47	15X4	167	17,5	20,2	35,9	16,1	6,5	24	8

ILPFd	49	15X4	167	17,8	20,1	37	16,6	6,7	24	⁸
ILPFd	59	15X4	167	20,1	21,1	48,6	21,9	8,7	32	⁸
ILPFd	73	15X4	167	21,9	24,5	66,4	29,9	11,9	44	⁸
ILPFd	77	15X4	167	23,6	27,6	90,4	40,7	16,3	60	⁸
ILPFd	85	15X4	167	25,4	27,3	97,6	43,9	17,6	64	⁸
ILPFd	92	15X4	167	25,8	26,1	99,4	44,7	17,9	66	⁸
ILPFd	97	15X4	167	26,4	27,8	107,4	48,3	19,3	71	⁸
ILPFd	102	15X4	167	26,8	26,1	105	47,3	18,9	69	⁸
ILPFd	109	15X4	167	31,2	31	161,4	72,6	29	107	⁸
ILPFd	112	15X4	167	30,4	30	148	66,6	26,6	98	⁸
ILPFd	122	15X4	167	31,3	34,9	186,1	83,7	33,5	123	⁸
ILPFd	123	15X4	167	31,1	30,4	155,7	70,1	28	103	⁸
ILPFd	139	15X4	167	35,3	34,9	223,1	100,4	40,2	147	⁸
ILPFd	151	15X4	167	37,6	34,8	245,2	110,3	44,1	162	⁸
IPF	32	12x3	277	12,8	12,5	31,3	14,1	5,6	21	¹⁰
IPF	54	9x3	-	20	23	102	45,9	18,4	67	¹¹

Dados obtidos em ¹Gatto et al. (2011) (dados médios entre os locais); ²Paixão et al. (2006); ³Viera e Rodriguez-Soalleiro (2019); ⁴Oliveira et al. (2015); ⁵Macedo et al. (2016); ⁶Oliveira et al. (2009a); ⁷Franchini et al. (2015); ⁸Pelos autores; ⁹Oliveira Neto et al. (2013); ¹⁰Torres et al. (2016); ¹¹Paula et al. (2013).

¹² Valores aproximados, capturados de gráficos.

¹³ Sítios de média capacidade produtiva (S22).

¹⁴ Conversões de área basal.ha⁻¹ para diâmetro médio/árvore desconsiderando mortalidade (não informada).

Com os dados da Tabela 2 e as Figuras 3a, 3b e 3c, algumas considerações podem ser feitas: o componente lenho (fuste) e a casca em florestas plantadas adensadas (1.666 árvores.ha⁻¹) armazenam carbono referente a uma quantidade de CO₂ sequestrado que variou de 1,3 a 4 vezes mais do que sistemas ILPF com variações entre 245 e 500 árvores.ha⁻¹ (Figura 3a e 3b), enquanto um sistema ILPF sequestrou até duas vezes mais do que um sistema ILPF com desbaste, com 166 árvores.ha⁻¹ (Figura 3b e 3c), supondo que a madeira do primeiro desbaste foi destinada integralmente para energia, com o retorno de CO₂ para a atmosfera.

Alguns exemplos podem ser obtidos da Tabela 2. Ao comparar a idade de 77 meses com a idade próxima de 72 meses analisada por Paixão et al. (2006), o plantio em sistema de ILPF com 333 árvores.ha⁻¹ fixou 32,6 Mg.ha⁻¹ de C no fuste das árvores, enquanto a monocultura de *Eucalypto grandis* com 1.666 árvores.ha⁻¹ fixou 42,88 Mg.ha⁻¹ de C (39,04 + 3,84).

Gatto et al. (2011) encontraram 75,9 Mg.ha⁻¹ de C aos 84 meses no fuste sem casca de um povoamento de eucalipto, enquanto os renques em ILPF fixaram 25,2 Mg.ha⁻¹ de C aos 85 meses no fuste com casca, aproximadamente 33% a menos do que a monocultura. Figueiredo et al. (2017) estimaram a captura de CO₂ de 476 árvores de eucalipto/ha (14 x 1,5 m) sob ILPF, em 170 Mg CO₂.ha⁻¹ em 10 anos, no estado de Mato Grosso, comparada a captura de CO₂ de 379 e 361 Mg.ha⁻¹ estimada por Gatto et al. (2011) e Viera e Rodriguez-Soalleiro (2019), respectivamente.

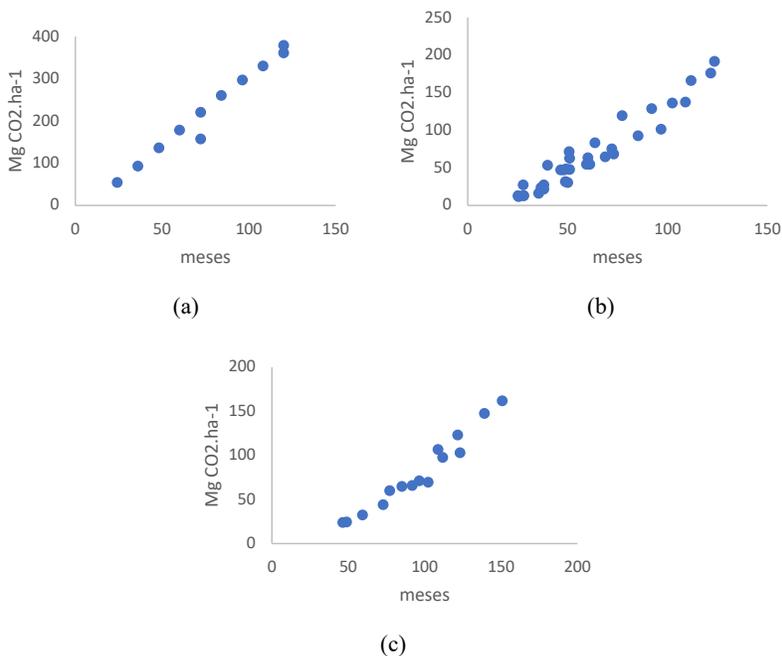


Figura 3. Fixação de Carbono (Mg.ha⁻¹ de CO₂) por idade em (a) florestas plantadas; (b) sistema de ILPF; e, (c) sistema de ILPF com desbaste.

Fonte: dados apresentados na Tabela 2, obtidos por Gatto et al. (2011); Paixão et al. (2006); Viera e Rodriguez-Soalleiro (2019); Oliveira et al. (2015); Macedo et al. (2016); Oliveira et al. (2009a); Franchini et al. (2015); Pelos autores; Oliveira Neto et al. (2013); Torres et al. (2016); Paula et al. (2013).

Crescimento do eucalipto em Sistema de ILPF sem e com desbaste

Na comparação entre plantios de 2009 e 2011, não desbastados e desbastados (Tabelas 3, 4, 5 e 6), os renques de árvores seguem a tendência observada em monoculturas de eucalipto. Após o desbaste, o diâmetro médio das árvores de eucalipto manteve a taxa de crescimento antes da sua desaceleração, pelo efeito da competição interespecífica por nutrientes, água e luz (Figuras 4 e 8). O desbaste é realizado no período em que o incremento corrente se iguala ao crescimento periódico anual, embora esta evidência não esteja clara nas Figuras 7 e 11, pela oscilação da curva de ICA. Mas pode-se perceber que entre 60 e 85 meses estaria demarcada a idade ótima para desbaste, que foi realizada aos 77 meses no plantio de 2009. No plantio de 2011, o primeiro ponto de encontro das curvas ocorre aos 49 meses, no período do desbaste.

Uma hipótese para a oscilação das curvas é a variação do déficit hídrico interanual causada por severos períodos de estiagem em 2014, 2016 e 2021. No plantio de 2009, as idades correspondentes aos anos de estiagem severa foram 63, 92 e 150 meses, e no plantio de 2011, as idades foram 37, 60 e 121 meses (Tabela 1). Nesses períodos observam-se, nas curvas de volume para os plantios de 2009 e 2011 (Figuras 6 e 10), reduções na taxa de crescimento, o que pode ser verificado também nas Figuras 7 e 11.

As Tabelas 3 e 5 informam os valores médios das variáveis por árvore. O aumento do crescimento em diâmetro dos renques desbastados comparado aos renques não desbastados foi observado (Figuras 4 e 8), mas a diminuição da altura dominante nos renques desbastados em relação aos não desbastados ocorreu somente no plantio de 2009 (Figuras 2 e 7).

Para os primeiros meses de crescimento do eucalipto, Oliveira et al. (2015) encontraram valores semelhantes aos obtidos neste estudo de volume de madeira. Volumes menores foram encontrados por Franchini et al. (2015) e Torres et al. (2016). Aos 51 meses de idade, árvores de eucalipto plantadas em 10 m x 3 m (333 árvores.ha⁻¹), em consórcio com culturas agrícolas e forrageiras na região do Cerrado, apresentaram 22,4 m de altura, 20,2 cm de diâmetro e 95,76 m³ ha⁻¹ de volume (Oliveira et al., 2009b).

Sequestro de CO₂ e fixação de carbono

Como a biomassa, o carbono fixado e o CO₂ capturado são calculados por constantes (densidade, teor e peso molecular), que partem do volume por ha (v), essas variáveis seguirão tendências similares às de “v” nas Figuras 5 e 9.

As Tabelas 4 e 6 mostram que em 10 anos os plantios sem desbaste capturaram 191,9 e 176 Mg.ha⁻¹ de CO₂. Os plantios sob desbaste capturaram aos 10 anos 102,9 e 122,9 Mg.ha⁻¹ de CO₂, respectivamente, considerando que o volume obtido com desbaste foi integralmente utilizado para energia (carvão, por exemplo), significando que todo o carbono retido no fuste das árvores desbastadas em 2015 foi liberado para a atmosfera. Esses resultados corroboram com estimativas em Figueiredo et al. (2017).

Nos plantios sem desbaste, a média de CO₂ capturado pelas árvores foi próxima de 18 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. No plantio com desbaste esta média caiu para 12,8 Mg.ha⁻¹ porque, embora as árvores cresçam mais em diâmetro, a densidade foi reduzida à metade.

Embora os acordos de crédito de carbono estejam em fase de regulamentação no mercado nacional, existem iniciativas voluntárias de empresas interessadas no vínculo de seus produtos à compensação em emissões, uma modalidade de marketing verde. A cotação atual está em torno de R\$ 20,00 Mg⁻¹ no Brasil (Tauhata, 2022).

O Incremento Corrente Anual (ICA) é crescente no início do período de crescimento das árvores de eucalipto, aumentando até a fase em que a taxa de crescimento começa a decrescer, atingindo a estagnação do aumento, quando se aproxima de zero. Para a sua parametrização, poder-se-ia adotar uma média referente à idade de estoque. No estudo de caso, para o plantio de 10 anos sem desbaste, a média está próxima de 18 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, que iria gerar um crédito de R\$ 360 ha⁻¹.ano⁻¹. No período de corte da floresta, o crédito seria cancelado.

No caso da madeira remanescente de 10 anos, com variações de diâmetro entre 23 cm e 44 cm, seu uso mais relevante seria para os produtos para movelaria e construção civil. Não se enquadram, nesse diâmetro, madeira para energia, celulose ou lenha. Mas, mesmo que a valorização de madeira para serraria seja maior e a fixação de carbono esteja garantida até o aban-

dono das peças, a demanda por esses produtos e as pequenas áreas plantadas dificultam sua comercialização.

O plantio de 2011 apresentou desenvolvimento menor, principalmente no início, o que resultou em diâmetros menores. Aos 10 anos, a madeira remanescente atingiu variações de diâmetro entre 14 cm e 39 cm, incluindo renques com e sem desbaste. Nesse caso seu uso fica menos restritivo, aproveitando-se madeira roliça, além de serrada.

O plantio de 2013 não tem série de dados que permita avaliações de tendência. Sua avaliação findou em 2019, por ter sofrido intervenções de desbaste no mesmo ano. Mas é possível comparar a captura de CO₂ com os demais plantios em idades similares. A idade mais próxima dos outros plantios é 61 meses, quando foi acumulada a captura de 55 Mg.ha⁻¹ de dióxido de carbono. O plantio de 2009, aos 63,7 meses, capturou 83,5 Mg.ha⁻¹ e o de 2011, aos 59 meses, capturou 55 Mg.ha⁻¹, sem desbaste, e 32 Mg.ha⁻¹ sob desbaste. Esses valores, embora em um estudo de caso, ao agregar demais mensurações e dados secundários, podem constituir uma base de dados como referência para futuras políticas de remuneração pela fixação de carbono, como um dos serviços ambientais prestados por florestas.

Tabela 3. Data e idade de mensuração em meses: diâmetros médios (Dg), mínimo (Dmin) e máximo (Dmax) (em cm), alturas mínima (Hmin), máxima (Hmax) e dominante de Assman (em m), para o eucalipto plantado em Sistema ILPF, no ano de 2009, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

	Data	Idade	Dg	Dmin	Dmax	Hmin	Hmax	hd
100% de árvores	05/02/2010	12	5,6	3,6	7,1	4,3	8	7,1
	25/05/2011	27,6	14,4	11,8	16,5	13,2	16,9	15,4
	04/06/2012	39,9	18	15,6	21,8	15,1	23,1	19,9
	24/04/2013	50,6	19,7	17,6	24,3	17,5	26,1	22,8
	27/05/2014	63,7	20,9	17,7	26,1	20	28,2	23,9
	09/07/2015	77,1	23,6	19	29,4	22,8	32,4	27,5
	03/10/2016	92	23,4	20,3	27,2	20,9	34,6	31
	14/08/2017	102,3	24,5	21,4	28,4	18,2	33,1	30,4
	29/05/2018	111,8	26,6	22,3	31,7	18,6	35,8	31,6
	15/05/2019	123,3	27,4	23,1	33,6	25,1	38,5	36,3
50% de árvores	09/07/2015	77,1	23,6	19	29,4	22,8	32,4	27,6
	03/10/2016	92	25,8	21,2	31	20,7	30,6	26,1
	14/08/2017	102,3	26,8	21,8	32,5	20,6	30,5	26,1
	29/05/2018	111,8	30,4	24,9	35,3	25,7	33,2	30
	15/05/2019	123,3	31,1	25,2	37,3	27,1	33,9	30,4
	*08/09/2020	139,2	35,3	29,4	41,5	29,7	40,5	34,9
*01/09/2021	150,9	37,6	30,9	44,3	26,7	39,6	34,8	

*datas de avaliação com desbaste somente (área sem desbaste sofreu novo desbaste).

Tabela 4. Data e idade de mensuração em meses, número de árvores.ha⁻¹ (Nha), área basal (G) em m².ha⁻¹, volume (v) em m³.ha⁻¹, incremento periódico anual (IPA) e incremento corrente anual (ICA) em m³.ha⁻¹. Biomassa do fuste (Mg), carbono fixado (C), CO₂ e incremento corrente anual (CO₂.ano⁻¹) em Mg.ha⁻¹ no plantio do ano de 2009, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Data	Idade	Nha	G	v	IPA	ICA	Mg	C	CO ₂	/CO ₂ /ano
05/02/2010	12	333	0,8	3,6	3,6	3,6	1,6	0,6	2,3	2,3
25/05/2011	27,6	333	5,4	42	18,3	29,6	18,9	7,6	27,7	19,5
04/06/2012	39,9	333	8,5	81,6	24,5	38,5	36,7	14,7	53,9	25,5
24/04/2013	50,6	333	10,1	108,2	25,7	32,1	48,7	19,5	71,5	19,7
27/05/2014	63,7	333	11,4	126,4	23,8	16,8	56,9	22,8	83,5	11,1
09/07/2015	77,1	333	14,6	180,9	28,2	48,7	81,4	32,6	119,5	32,2
03/10/2016	92	333	14,4	195,1	25,5	11,5	87,8	35,1	128,9	7,6
14/08/2017	102,3	333	15,7	206,1	24,2	29,2	92,7	37,1	136,1	8,4
29/05/2018	111,8	333	18,5	252,2	27,1	58,4	113,5	45,4	166,6	38,6
15/05/2019	123,3	333	19,6	290,5	28,3	39,9	130,7	52,3	191,9	26,4
*09/07/2015	77,1	166	7,3	90,4	14,1	14,1	40,7	16,3	59,7	9,3
*03/10/2016	92	166	8,7	99,4	13	7,3	44,7	17,9	65,7	4,8
*14/08/2017	102,3	166	9,4	105	12,3	6,5	47,3	18,9	69,4	4,3
*29/05/2018	111,8	166	12,1	148	15,9	54,5	66,6	26,6	97,8	36
*15/05/2019	123,3	166	12,7	155,7	15,2	8	70,1	28	102,9	5,3
*08/09/2020	139,2	166	16,3	223,1	19,2	51,1	100,4	40,2	147,4	33,7
*01/09/2021	150,9	166	18,5	245,2	19,5	22,5	110,3	44,1	162	14,8

*datas de avaliação sem desbaste e com desbaste (em 2015, a área foi dividida na metade para intervenção do desbaste).

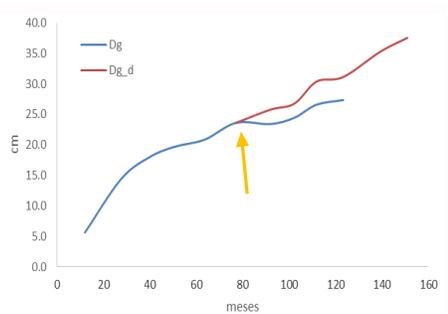


Figura 4. Diâmetro médio (Dg) e diâmetro médio sob desbaste (Dg_d) do plantio de 2009. A seta indica o período da desaceleração do crescimento em diâmetro.

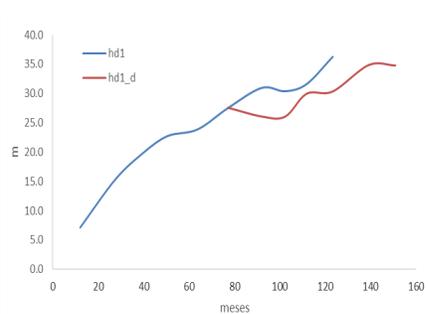


Figura 5. Altura dominante (hd1) e altura dominante sob desbaste (hd1_d) do plantio de 2009.

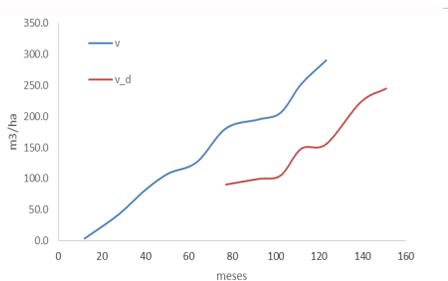


Figura 6. Volume (v) e volume sob desbaste (v_d) do plantio de 2009.

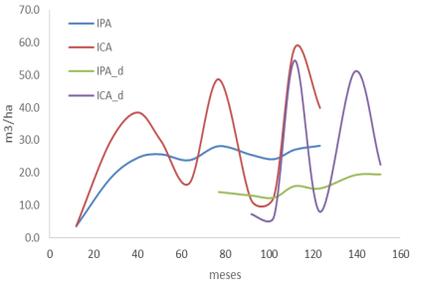


Figura 7. Incremento periódico anual (IPA), incremento corrente anual (ICA) e incrementos sob desbaste (IPA_d e ICA_d) do plantio de 2009.

Tabela 5. Data e idade de mensuração em meses, diâmetros médio (Dg), mínimo (Dmin) e máximo (Dmax) em cm, alturas mínima (Hmin), máxima (Hmax) e dominante de Assman em m para o eucalipto plantado no ano de 2011, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Data	Idade	Dg	Dmin	Dmax	Hmin	Hmax	hd
06/12/2013	25,4	11,3	9	13,9	9,5	13	12,2
13/11/2014	36,7	14,3	11,7	17	11,4	16,4	15,6
08/09/2015	46,5	17,5	13,1	20,6	17,8	22	20,2
26/11/2015	49,1	17,8	13,2	21,4	17,6	21,6	20
03/10/2016	59,4	18	13,7	22,7	19,9	25	22
21/11/2017	73	19,2	14,7	25,4	21,6	26,1	24,6
27/11/2018	85,2	21,3	16,2	28,9	25,1	28,8	27,3
12/11/2019	96,7	22,1	16,7	30,6	24,6	29,5	27,9
19/11/2020	109	24,4	18,7	33,1	25,5	34,1	31,4
09/12/2021	122	26,1	14,8	35,8	27,4	39,3	35,7
08/09/2015	46,5	17,5	13,1	20,6	17,8	22	20,2
26/11/2015	49,1	17,8	13,2	21,4	17,6	21,6	20,1
*03/10/2016	59,4	20,1	15,3	24	18,5	23,7	21,1
*21/11/2017	73	21,9	12,2	26,6	20,7	25,9	24,5
*27/11/2018	85,2	25,4	19,5	32,4	24,9	29,3	27,3
*12/11/2019	96,7	26,4	20,6	32,7	25,2	30,1	27,8
*19/11/2020	109	31,2	25	37,4	27,5	32,2	31
*09/12/2021	122	31,3	17,8	39,5	26,2	38,4	34,9

Tabela 6. Data e idade de mensuração em meses, número de árvores. ha⁻¹ (Nha), área basal (G) em m².ha⁻¹, volume (v) em m³.ha⁻¹, incremento periódico anual (IPA) e incremento corrente anual (ICA) em m³.ha⁻¹. Biomassa do fuste (Mg), carbono fixado (C), CO₂ e incremento anual (CO₂.ano⁻¹) em Mg.ha⁻¹ no plantio do ano de 2011, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Data	Idade	Nha	G	v	IPA	ICA	Mg	C	CO ₂	CO ₂ /ano
06/12/2013	25	333	3,3	18,2	8,6	8,6	8,2	3,3	12	5,7
13/11/2014	37	333	5,3	36	11,8	19	16,2	6,5	23,8	12,6
08/09/2015	47	333	8	71,8	18,5	43,6	32,3	12,9	47,4	28,8
26/11/2015	49	333	8,3	73,9	18,1	10	33,3	13,3	48,8	6,6
03/10/2016	59	333	8,5	83,4	16,8	11	37,5	15	55,1	7,3
21/11/2017	73	333	9,6	103,5	17	17,8	46,6	18,6	68,4	11,7
27/11/2018	85	333	11,8	140,1	19,7	36	63,1	25,2	92,6	23,8
12/11/2019	97	333	12,7	153,8	19,1	14,2	69,2	27,7	101,6	9,4
19/11/2020	109	333	15,6	208,8	23	53,9	94	37,6	137,9	35,6
09/12/2021	122	333	17,8	266,7	26,3	54,9	120	48	176,2	36,2
08/09/2015	47	167	4	35,9	9,3	9,3	16,1	6,5	23,7	6,1
26/11/2015	49	167	4,1	37	9	5	16,6	6,7	24,4	3,3
*03/10/2016	59	167	5,3	48,6	9,8	13,6	21,9	8,7	32,1	9
*21/11/2017	73	167	6,3	66,4	10,9	15,7	29,9	11,9	43,9	10,4
*27/11/2018	85	167	8,4	97,6	13,7	30,7	43,9	17,6	64,5	20,3
*12/11/2019	97	167	9,1	107,4	13,3	10,3	48,3	19,3	71	6,8
*19/11/2020	109	167	12,7	161,4	17,8	52,8	72,6	29	106,6	34,8
*09/12/2021	122	167	12,8	186,1	18,4	23,5	83,7	33,5	122,9	15,5

*datas de avaliação sem desbaste e com desbaste (em 2015, a área foi dividida na metade para intervenção do desbaste).

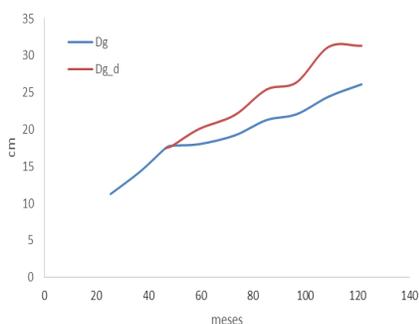


Figura 8. Diâmetro médio (Dg) e diâmetro médio sob desbaste (Dg_d) do plantio de 2011.

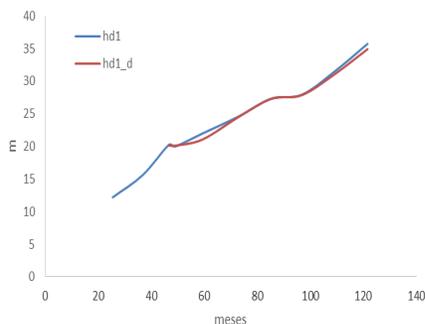


Figura 9. Altura dominante (hd1) e altura dominante sob desbaste (hd1_d) do plantio de 2011.

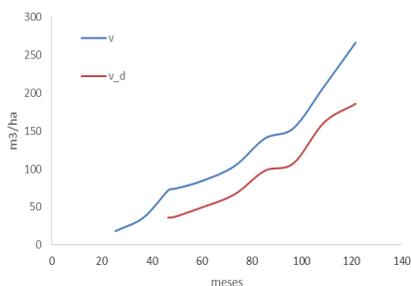


Figura 10. Volume (v) e volume sob desbaste (v_d) do plantio de 2011.

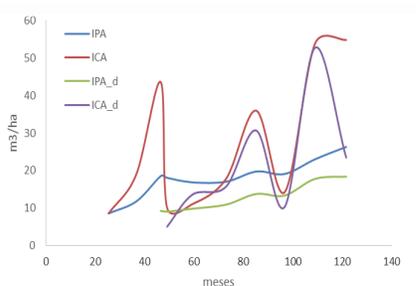


Figura 11. Incremento periódico anual (IPA), incremento corrente anual (ICA) e incrementos sob desbaste (IPA_d e ICA_d) do plantio de 2011.

Tabela 7. Data e idade de mensuração em meses: diâmetros médios (Dg), mínimo (Dmin) e máximo (Dmax) em cm, alturas mínimas (Hmin), máxima (Hmax) e dominante de Assman em m para o eucalipto plantado no ano de 2013, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Data	Idade	Dg	Dmin	Dmax	Hmin	Hmax	hd
11/10/2016	35,4	12,7	8,0	16,5	10,0	16,1	15,0
21/11/2017	48,8	15,7	11,8	20,5	12,3	19,8	18,8
27/11/2018	61,0	18,7	10,9	24,3	15,6	25,4	22,6
18/07/2019	68,6	20,3	12,9	26,2	16,9	25,3	22,8

Tabela 8. Data e idade de mensuração em meses, número de árvores. ha⁻¹ (Nha), área basal (G) em m².ha⁻¹, volume (v) em m³.ha⁻¹, incremento periódico anual (IPA) e incremento corrente anual (ICA) em m³.ha⁻¹, Biomassa do fuste (Mg), carbono fixado (C), CO₂ e incremento anual (CO₂.ano⁻¹) em Mg.ha⁻¹ no plantio do ano de 2013, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

Data	Idade	Nha	G	v	IPA	ICA	Mg	C	CO ₂	CO ₂ /ano
11/10/2016	35,4	333	4,2	24,4	8,2	8,2	11	4,4	16,1	5,4
21/11/2017	48,8	333	6,5	47,9	11,8	21,1	21,5	8,6	31,6	14
27/11/2018	61	333	9,2	83,3	16,4	34,8	37,5	15	55	23
18/07/2019	68,6	333	10,8	98,6	17,2	23,9	44,4	17,7	65,1	15,8

Considerações Finais

Contratos de crédito de carbono vêm aumentando no meio empresarial, impulsionados pela oportunidade das empresas em informar, nos seus produtos ou serviços, a compensação pela emissão de CO₂, uma modalidade de “selo verde” na intenção de influenciar clientes.

Manejadores de florestas plantadas e de sistemas de ILPF têm a oportunidade de participar desse mercado no futuro próximo, pela capacidade das espécies florestais de rápido crescimento para sequestrar e estocar carbono. Os resultados de ensaios com estes sistemas florestais podem fornecer informações que deem suporte a essas negociações, sem necessidade de demandar um novo levantamento.

As árvores de eucalipto nas URTs foram plantadas no espaçamento de 15 m x 2 m para um estande de 333 árvores por hectare e sofreram desbaste de 50%, ficando com 166 árvores.ha⁻¹. Os plantios foram mensurados anualmente, pelo Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e pela altura (m), para avaliação de crescimento, produção e cálculo da fixação de carbono no fuste das árvores.

A produção de eucalipto em Sistema ILPF, com 333 árvores.ha⁻¹, pode apresentar a produção de até 290 m³.ha⁻¹ em 10 anos e, após o desbaste, com 166 árvores.ha⁻¹, de até 245 m³.ha⁻¹. Em 10 anos, os plantios sem des-

bastante capturaram 191,9 e 176 Mg.ha⁻¹ de CO₂, nas diferentes URTs, comparando com 102,9 e 122,9 Mg.ha⁻¹ de CO₂ dos plantios sob desbaste. A média de CO₂ capturado pelas árvores foi próxima de 18 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, enquanto no plantio com desbaste esta média caiu para 12.8 Mg.ha⁻¹.

O presente trabalho reuniu dados primários e secundários com objetivo exploratório. Com isso, é possível obter uma primeira informação da fixação de carbono no fuste de árvores de eucalipto em sistema de ILPF em função da idade e da densidade de plantio. Mais referências deverão futuramente ser agregadas a este conjunto de dados, assim como o número de variáveis envolvidas.

Agradecimentos

À Associação Rede ILPF pelo fomento ao projeto “Conversão de pastagem degradada em ambientes de produção intensiva (ILPF) na região Central de MG - Fase 2” e à Embrapa pelo suporte financeiro e operacional vinculados ao projeto SEG 20.18.03.015.00 – “Estratégia ILPF para inovação agropecuária na região do Cerrado Mineiro e áreas limítrofes”.

Referências

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Brasília, DF, 2012. 172 p.

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: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 157).

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, jan./ago. 2015.

COSTA, T. C. C.; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, L. F. M. CalcMadeira: sistema para estimativa de peças de madeira roliça e serrada. In: OLIVEIRA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. (ed.). **O eucalipto e a Embrapa: 40 anos de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 885-905.

COSTA, T. C. C.; FIDALGO, E. C. C.; RAID, M. A. M.; RIBEIRO, J. L.; VIANA, J. H. M.; FERREIRA, F. N.; MIRANDA, G. A.; MARRIEL, I. E.; PAIVA, C. A. O. Forest patch conservation indicators. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 14, n. 3, p. 711-734, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1403_711734

FIGUEIREDO, E. B.; JAYASUNDARA, S.; BORDONAL, R. O.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; WAGNER-RIDDLE, C.; LA SCALA JR, N. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 420-431, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; SICHIERI, F. Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para aumentar a produtividade e prover serviços ambientais no noroeste do Paraná. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 266-270.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; MERCÊS, E.; VILLANI, A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na Região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000500015>

GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, E. A. dos; SIMÃO, E. de P.; CAMPANHA, M. M. Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p. 183-191, 2014.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V. de; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e C. da; SIMÃO, E. de P.; ALMEIDA, R. G. de; ALVES, F. V.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. **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: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 230).

GOOGLE MAPS. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-19.4850106,-44.1787126,428m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>. Acesso em: 27 ago. 2022.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R. G.; VENTURIN, N.; VALE, R. S.; OLIVEIRA, T. K. Desempenho silvicultural de clores de eucalipto e características agronômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 701-709, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500003>

MANZATTO, C. V.; SKORUPA, L. A.; ARAÚJO, L. S. de; VICENTE, L. E.; ASSAD, E. D. Estimativas de redução de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas ILPF no Brasil. In: SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. (ed.). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologia, avaliação da adoção e de impactos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 400-424.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000100014>

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M. Desempenho silvicultural e produtivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 1-9, 2009b. DOI: <https://doi.org/10.4336/2009.pfb.60.01>

OLIVEIRA, F. L. R.; CABACINHA, C. D.; SANTOS, L. D. T.; BARROSO, D. G.; SANTOS JÚNIOR, A.; BRANT, M. C.; SAMPAIO, R. A. Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 227-233, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201521021489>

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

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um

plântio de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000300011>

PAULA, R. R.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; MELIDO, R. C. N.; LOPES, H. N. S.; SOUZA, F. C. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 87, p. 1295-1307, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9638-5>

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen – Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

SILVA, A. R.; RODRIGUES FILHO, J. A.; CARVALHO, E. J. M.; SANTIAGO, A. V.; VELOSO, C. A. C.; MARTINEZ, G. B. Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39997-40016, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-457>

TAUHATA, S. Crédito de carbono já atinge patamar bilionário no país: especialistas veem potencial para todas as empresas no país gerarem e venderem compensações. Disponível em: <https://valor.globo.com/financas/noticia/2022/08/04/credito-de-carbono-ja-atinge-patamar-bilionario-no-pais.gh.html>. Acesso em: 27 ago. 2022.

TORRES, C. M. M. E.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; CARNEIRO, A. C. O.; TORRES, C. M. M. E. Estimativas da produção e propriedades da madeira de eucalipto em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestales**, v. 44, n. 109, p. 137-148, 2016.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; FRAISSE, C. W.; SOARES, C. P. B.; CASTRO NETO, F.; FERREIRA, L. R.; ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G. Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in southeastern Brazil. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 16738, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16821-4>

VIERA, M.; RODRIGUEZ-SOALLEIRO, R. A complete assessment of carbon stocks in above and belowground biomass components of a hybrid eucalyptus plantation in Southern Brazil. **Forests**, v. 10, n. 7, 536, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10070536>

Embrapa

Milho e Sorgo



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

