

Estoque de carbono na madeira de *Eucalyptus*: relação material genético x espaçamento entre árvores

Carbon stock in Eucalyptus wood: genetic material x spacing between trees

Emmanoella Costa Guaraná Araujo¹, Thiago Cardoso Silva², Márcio Pereira da Rocha³, Carlos Roberto Sanquetta⁴

RESUMO: A quantificação do estoque de carbono na biomassa vegetal é uma importante ferramenta na implementação de projetos de carbono e demais medidas de mitigação às alterações climáticas em nível mundial. Assim, o objetivo do trabalho foi quantificar o estoque de carbono em quatro materiais genéticos de *Eucalyptus*, submetidos a diferentes espaçamentos de plantio. Foram selecionados quatro materiais genéticos de *Eucalyptus*, sendo três do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* e um de *E. saligna*, plantados em três espaçamentos, sendo amostradas três árvores por tratamento. Discos da base da árvore foram previamente secos e moídos. Em seguida, foram determinados os teores de carbono por combustão a seco e estimados os estoques de carbono na madeira por hectare. Os dados foram analisados a partir de análise de comparação de médias em fatorial (material genético x espaçamento). Os volumes de madeira por árvore, para cada tratamento, variaram entre os espaçamentos, sendo que os materiais genéticos geraram volumes diferentes nos espaçamentos maiores. Os teores de carbono variaram entre 44,87% e 44,99%. A biomassa seca do fuste aumentou inversamente proporcional ao espaçamento, devido ao maior número de indivíduos por hectare em espaçamentos menores. Observou-se que a escolha de clones para o plantio influencia na quantidade de carbono estocado no sistema. Clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* apresentam maior produção de biomassa que *E. saligna*, com conseqüente maior estoque de carbono na madeira. Assim, a produção de biomassa e estoque de carbono em plantios florestais de *Eucalyptus* pode ser manipulada por meio do espaçamento.

Palavras-chave: Biomassa florestal. Clones de *Eucalyptus*. Espaçamento de plantio. Fixação de carbono.

ABSTRACT: The quantification of carbon stock in vegetal biomass is an important tool for carbon projects and mitigation methods to climatic changes at world level. Current research quantifies carbon stock in four genetic material of *Eucalyptus* submitted to different plant spacing. Four genetic material of *Eucalyptus* were selected, three from the hybrid *E. grandis* x *E. urophylla* and one from *E. saligna*, planted at three spacings, sampling three trees per treatment. Discs from tree base were dried and ground. Carbon rates by dry combustion were determined and carbon stocks in the wood per hectare were estimated. Data were analyzed by the analysis of factorial mean comparison (genetic material X spacing). Volumes of wood per tree, for each treatment, varied between spacings. Genetic materials generated different volumes in greater spacings. Carbon rates varied between 44.87% and 44.99%. Dry biomass increased inversely to spacing due to the great number of individuals per hectare in lesser spacings. Choice of clone for planting affects the amount of carbon stocked in the system. Clones of *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* had a greater biomass production than *E. saligna*, with a greater stock of carbon in the wood. Consequently, biomass production and carbon stock in forest plants of *Eucalyptus* may be managed through spacings.

Keywords: Carbon fixing. Forest biomass. Spacing. *Eucalyptus* clones.

Autor correspondente:

Emmanoella Costa Guaraná Araujo: manugarana@gmail.com

Recebido em: 09/12/2019

Aceito em: 21/05/2020

INTRODUÇÃO

A quantificação do estoque de carbono na biomassa vegetal é uma importante ferramenta na implementação de projetos de carbono e demais medidas de mitigação às alterações climáticas em nível mundial, sobretudo no processo de compra de crédito de carbono. O dióxido de carbono é considerado o gás com maior relevância no aumento do efeito estufa, fato atribuído à sua elevada concentração na atmosfera (KUMAR *et al.*, 2018). O ecossistema florestal natural, apesar de contribuir com a fixação deste gás, tem maior impacto a partir da retirada das florestas e exposição

¹ Doutoranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

² Doutorando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

³ Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

⁴ Professor titular da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR), Brasil.

dos solos, causadas por ações antrópicas (BARRETO-GARCIA *et al.*, 2019), podendo os reflorestamentos suprirem essas necessidades ambientais.

Atualmente, as florestas plantadas de *Eucalyptus* respondem por 71% do volume das toras de madeira consumidas no país, sendo que apenas 26% destas são destinadas para outros processos que não sejam a obtenção de celulose e produção de papel (IBGE, 2018). A produção florestal voltada para obtenção de madeira sólida é essencial para reduzir o retorno do carbono absorvido e fixado na floresta. Tal fato reforça a importância e a necessidade de conhecer os estoques de carbono presentes nestes sistemas de produção, uma vez que os produtos florestais foram incluídos no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas como reservatórios de carbono durante seu processo de decomposição (IPCC, 2014).

É importante compreender de que forma as espécies produzidas para o mesmo fim; se comportam frente à contribuição para o estoque de carbono e, conseqüentemente, redução de CO₂ na atmosfera (GUPTA *et al.*, 2019) "type": "article-journal", "volume": "116", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=72689911-1d9e-4eac-b974-b2e-9fdb57815"}], "mendeley": {"formattedCitation": "(GUPTA et al., 2019. Nesse caso é requerida a estimativa de peso seco da biomassa para conversão de acordo com o teor de carbono do material (MUGASHA *et al.*, 2013). Para tanto, a estimativa da biomassa pode ser obtida por meio do volume produzido por unidade de área, multiplicado pelo peso do material e o teor de carbono determinado por métodos laboratoriais.

As informações geradas neste estudo são relevantes, fornecendo informações para empresas interessadas na produção de celulose a partir da biomassa de eucalipto, uma vez que o espaçamento do plantio é um fator preponderante na produção de biomassa florestal (SCHWERZ *et al.*, 2019). Além disso, salienta-se que diferentes materiais genéticos utilizados na indústria florestal implantados em diferentes adensamentos podem incrementar a estocagem de carbono na madeira, mitigando os impactos ambientais gerados pelo acúmulo de gases na atmosfera. Assim, o objetivo do trabalho foi quantificar o estoque de carbono em quatro materiais genéticos de *Eucalyptus* plantados em diferentes espaçamentos entre árvores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 COLETA DAS AMOSTRAS

Amostras de fuste foram retiradas de um plantio experimental clonal com sete anos de idade conduzido pela *ArborGen Tecnologia Florestal*, no município de Chapadão do Sul, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil (latitude 18°48'08"S, longitude 52°36'10"W), com altitude de 820 m. O município está inserido numa região de clima tropical úmido (Aw), segundo a classificação de Köppen, em que apresenta temperatura média anual de 22 °C e precipitação média anual de 1850 mm, com solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa e relevo plano (CASTRO *et al.*, 2012; ALVARES *et al.*, 2013; CUNHA *et al.*, 2013; EMBRAPA, 2013) with well recognized simple rules and climate symbol letters. In Brazil, climatology has been studied for more than 140 years, and among the many proposed methods Köppen's system remains as the most utilized. Considering Köppen's climate classification importance for Brazil (geography, biology, ecology, meteorology, hydrology, agronomy, forestry and environmental sciences).

Foram selecionados quatro materiais genéticos de *Eucalyptus*, com sete anos de idade, sendo três do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* e um de *E. saligna*, plantados em três espaçamentos: 3,15 m x 3 m, 6,1 m x 3 m e 8,25 m x 3 m (Tabela 1). Para cada combinação material genético x espaçamento, foram selecionadas três árvores, de acordo com a fitossanidade e forma, sendo um total de 36 árvores. As árvores foram derrubadas utilizando motosserra e, em seguida, de cada árvore foi retirado um disco na base do fuste (0,10 m), com espessura de 5 cm, que foi separado em quatro cunhas, que seguiram para as etapas da determinação dos teores de carbono e densidade básica.

Tabela 1. Informações sobre os materiais genéticos de *Eucalyptus*, espaçamentos entre as árvores, altura média e diâmetro das árvores, de plantio com sete anos de idade, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Tratamento	Material genético	Clone	Espaçamento (m ²)	DAP Médio (cm)	Altura Média (m)	
1	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	A	3,15 x 3	19,8	27,4	
2			6,1 x 3	25,5	30,9	
3			8,25 x 3	27,0	29,4	
4		B	3,15 x 3	19,6	31,9	
5			6,1 x 3	23,4	34,3	
6			8,25 x 3	28,0	33,4	
7		C	3,15 x 3	20,1	27,9	
8			6,1 x 3	24,1	29,2	
9			8,25 x 3	29,5	30,1	
10		<i>Eucalyptus saligna</i>	D	3,15 x 3	18,9	27,4
11				6,1 x 3	24,1	26,6
12				8,25 x 3	28,2	25,7

Legenda: DAP: Diâmetro da árvore a 1,30 m.

2.2 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO

Para determinação dos teores de carbono, de cada disco foram retiradas amostras de madeira na seção transversal, obtendo-se uma amostra composta desde a camada após a casca até a medula. Esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C até apresentar peso constante. Em seguida, esse material foi moído em moinho de facas do tipo Willey com peneira de seleção de partículas de 2 mm e preservado em local livre de umidade até o momento da análise.

As amostras foram pesadas (0,1 g) em cadinhos de porcelana e, posteriormente, levadas à análise dos teores de carbono por combustão a seco no equipamento marca LECO, modelo C-144. O aparelho determina o tempo de combustão e o teor de carbono da amostra e envia as informações diretamente para um *software*, gerando um arquivo digital.

2.3 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA

Para determinação da densidade básica da madeira, foram selecionadas duas cunhas retiradas de lados opostos dos discos da base, apresentando alto teor de umidade. Em seguida, essas cunhas foram totalmente saturadas em água e, depois de saturadas, tiveram seus volumes determinados a partir do método da balança hidrostática. Em seguida, as cunhas foram totalmente secas em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 103 °C ± 2 °C até peso constante, a fim de se obter as massas secas, de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003). Depois de obtido o volume verde (m³) e a massa seca (kg) das cunhas, foi calculada a densidade básica da madeira, em kg.m⁻³.

2.4 ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO

A fim de estimar o estoque de carbono dos plantios, em cada árvore amostrada; foram medidas as circunferências da base (h = 0,0 m) e as circunferências a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, utilizando fita métrica

e medidas as alturas comercial e total do fuste, utilizando trena, para posterior cálculo do volume do fuste, de acordo com a equação de Smalian (Equação 1), sendo o volume do fuste correspondente à soma dos volumes das toras das árvores.

$$V_{tora} = \frac{\left[\left(\frac{D_{base}^2 * \pi}{4}\right) + \left(\frac{D_{topo}^2 * \pi}{4}\right)\right]}{20000} * h \quad \text{Equação 1.}$$

Em que: V_{tora} = Volume do fuste, em m^3 ; D_{base} = Diâmetro na base da tora, em cm; D_{topo} = Diâmetro do topo da tora, em cm; h = Comprimento da tora entre as seções, em m.

Após determinar os volumes do fuste de cada árvore, foi realizada uma relação entre este volume, a densidade básica da madeira e os respectivos teores de carbono, a fim de obter a massa de carbono por árvore (Equação 2).

$$MC/\acute{arv} = (V_{fuste} * DB) * \frac{\%C}{100} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que: MC/\acute{arv} = Massa de carbono por árvore, em kg; V_{fuste} = Volume total do fuste, em m^3 ; DB = Densidade básica da madeira, em $kg.m^{-3}$; $\%C$ = Teor de carbono na madeira, em %.

Por fim, foram estimados os estoques de carbono na madeira por hectare a partir da relação entre a massa de carbono por árvore e o número de árvores por hectare de cada tratamento (Equação 3).

$$C.ha^{-1} = MC/\acute{arv} * n \quad \text{Equação 3}$$

Em que: $C.ha^{-1}$ = Estoque de carbono no plantio, em $Mg.ha^{-1}$; n = número de árvores por hectare.

2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental consistiu em um fatorial duplo, sendo o primeiro fator o material genético (quatro clones) e o segundo fator o espaçamento (três espaçamentos); apresentando 12 tratamentos. Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (W) ou Kolmogorov-Smirnov (D) e ao teste de homogeneidade de variância de Cochran. Por fim, foi realizada uma análise estatística inteiramente casualizada em fatorial, com comparação de médias por teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade, por meio do programa RStudio 1.1.463, a fim de determinar qual tratamento apresentou o maior estoque de carbono na madeira em pé.

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISES DE VARIÂNCIA

Ao analisar o volume de madeira por hectare produzido pelos clones em função do espaçamento, observou-se que a interação entre os fatores não foi significativa. No entanto, os fatores analisados separadamente apresentaram diferença estatística entre pelo menos dois tratamentos em nível de significância de 95%. Os dados são normais e as variâncias são homogêneas.

Para o teor de carbono, os dados foram normalizados, transformando-os com a equação $y = \tan x$. As variâncias são homogêneas, de acordo com o teste de Cochran. De acordo com a análise de variância dos dados não foi observada diferença estatística entre os teores de carbono nas madeiras, ou seja, nem o material genético nem o espaçamento influenciaram a porcentagem de carbono na madeira de *Eucalyptus*.

No que diz respeito ao estoque de carbono, a interação entre o tipo de clone e o espaçamento não foi significativa, no entanto os fatores analisados separadamente apresentaram diferença significativa ao nível de probabilidade de 95%. Os dados de estoque de carbono nos plantios possuem normalidade com variâncias homogêneas.

Na Tabela 2 estão apresentadas todas as análises de variância.

Tabela 2. Análises da variância do volume de madeira produzido, do teor de carbono na madeira e do estoque de carbono na madeira de plantios de clones de *Eucalyptus* em implantados em diferentes espaçamentos, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Fonte de Variação	GL	Volume de Madeira		Teor de Carbono na Madeira		Estoque de Carbono na Madeira	
		QM	F	QM	F	QM	F
Clones	3	21189,35	11,78 **	0,0068	0,66 ns	895,63	7,99 **
Espaçamentos	2	23705,70	13,17 **	0,0012	0,12 ns	1174,49	10,48 **
Clone x Espaçamento	6	1540,38	0,86 ns	0,0047	0,45 ns	131,83	1,18 ns
Tratamentos	11	10929,24	6,07 **	0,0046	0,45 ns	529,71	4,73 **
Resíduo	24	1799,49	-	0,0103	-	112,09	-
Coeficiente de Variação (%)		13,59		0,23		14,02	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

ns - não significativo ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

3.2 VOLUME DE MADEIRA

Os volumes de madeira por árvore, para cada tratamento, variaram entre os espaçamentos, sendo que os materiais genéticos geraram volumes diferentes nos espaçamentos maiores, apresentando as menores variações entre as árvores (Tabela 3).

Tabela 3. Volumes de madeira produzidos em função de materiais genéticos de *Eucalyptus* implantados em diferentes espaçamentos entre as árvores, de plantio com sete anos de idade, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Tratamento	Material genético	Clone	Volume médio de madeira por árvore (m ³)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
1	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	A	0,3423	0,0571	16,7
2			0,5938	0,1327	22,4
3			0,6514	0,0334	5,1
4		B	0,3863	0,0513	13,3
5			0,7035	0,0578	8,2
6			0,8435	0,0706	8,4
7			0,3295	0,0218	6,6
8		C	0,4443	0,0413	9,3
9			0,6314	0,0300	4,7
10			0,3090	0,0588	19,0
11	<i>Eucalyptus saligna</i>	D	0,4355	0,0872	20,0
12			0,6053	0,0483	8,9

Comparando os volumes médios de madeira entre os tratamentos (Tabela 3), é possível verificar que o espaçamento 3,15 m x 3 m apresentou maior volume de madeira para todos os clones. O clone *E. urophylla* x *E. grandis* 1 se destaca com os maiores volumes de madeira produzidos, e os demais materiais genéticos testados não se diferenciam nesta variável (Tabela 4).

Tabela 4. Volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 7 anos, plantados em diferentes espaçamentos, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Clones	Volume De Madeira ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)			Média ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
	Espaçamento			
	3,15 m x 3 m	6,1 m x 3 m	8,25 m x 3 m	
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	409,1	386,8	341,6	378,5 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	362,5	324,8	263,8	317,0 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	349,0	243,0	255,7	282,6 b
<i>E. saligna</i>	327,2	238,2	245,2	270,2 b
Média ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	361,9 a	297,7 b	276,6 b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o Teste de Scott-Knott ao nível de 95% de probabilidade. CV = 13,59%

3.3 TEOR DE CARBONO NA MADEIRA E ESTOQUE DE CARBONO NOS PLANTIOS

510

Os teores de carbono em cada tratamento apresentaram valores entre 44,87% e 44,99% (CV = 0,23%). Quanto ao estoque, o clone *E. urophylla* x *E. grandis* 1 apresentou o maior estoque de carbono na biomassa em todos os espaçamentos. Em todos os tratamentos, o espaçamento 3,15 m x 3 m apresentou maior estoque de carbono na biomassa, sendo o *E. saligna* o clone com menor desempenho, não diferindo estatisticamente dos *E. urophylla* x *E. grandis* 2 e 3 (Tabela 5).

Tabela 5. Estoque de carbono (Mg ha^{-1}) na madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 7 anos, plantados em diferentes espaçamentos, no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil

Clones	Estoque de Carbono ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)			Média ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	Espaçamento			
	3,15 m x 3 m	6,1 m x 3 m	8,25 m x 3 m	
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 1	94,24	93,66	79,13	89,01 a
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 2	82,75	77,45	63,64	74,61 b
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i> 3	89,18	64,48	67,07	73,58 b
<i>E. saligna</i>	79,79	55,82	59,20	64,94 b
Média ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	86,49 a	72,85 b	67,26 b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o Teste de Scott-Knott ao nível de 95% de probabilidade. CV = 14,02%.

4 DISCUSSÃO

A biomassa seca do fuste aumentou inversamente proporcional ao espaçamento, devido ao maior número de indivíduos por hectare em espaçamentos menores. Os espaçamentos menores produziram maior quantidade de biomassa de fuste por hectare e, por conseguinte, maior estoque de carbono armazenado, demonstrando que o número de árvores por hectare desempenha um papel fundamental na produção total de biomassa e, conseqüentemente, remoção e estoque do carbono atmosférico (NAGAR *et al.*, 2015), observando-se que a biomassa e a quantidade de carbono estão correlacionadas, principalmente pelo fato do carbono ser o elemento que apresenta os maiores teores na biomassa (BRIANEZI *et al.*, 2013).

Os teores de carbono apresentaram baixa variação entre os tratamentos ($CV = 0,23\%$), mostrando que a relação clone x espaçamento entre árvores no plantio não influencia no teor de carbono na madeira. Segundo Brand (2010), os materiais lenhosos apresentam um teor médio de carbono de 49%, estando os teores encontrados na madeira de *Eucalyptus* um pouco abaixo dessa média, justificando-se a eficiência desses materiais genéticos na absorção de outros elementos da composição da madeira. Alguns estudos encontram outros valores para o teor de madeira de *Eucalyptus sp.*, como 47,1% (DANISH; AHMAD, 2018), entre 45,81% e 48,59% (SANTOS *et al.*, 2012) e 50,14% (TRUGILHO *et al.*, 2010).

De acordo com essa baixa variação do teor de carbono entre as madeiras, o estoque de carbono passa a ser atribuído à produção de biomassa nos plantios florestais. Estudo realizado com povoamentos de eucalipto de curta duração para produção de energia; constatou que o acúmulo de carbono nas árvores foi diretamente relacionado à quantidade de biomassa seca (MAGNAGO *et al.*, 2016) toxic chemical products formed as secondary metabolites by a few fungal species that readily colonise crops and contaminate them with toxins in the field or after harvest. Ochratoxins and Aflatoxins are mycotoxins of major significance and hence there has been significant research on broad range of analytical and detection techniques that could be useful and practical. Due to the variety of structures of these toxins, it is impossible to use one standard technique for analysis and/or detection. Practical requirements for high-sensitivity analysis and the need for a specialist laboratory setting create challenges for routine analysis. Several existing analytical techniques, which offer flexible and broad-based methods of analysis and in some cases detection, have been discussed in this manuscript. There are a number of methods used, of which many are lab-based, but to our knowledge there seems to be no single technique that stands out above the rest, although analytical liquid chromatography, commonly linked with mass spectroscopy is likely to be popular. This review manuscript discusses (a. Comportamento semelhante foi observado por Trugilho *et al.* (2010), que encontraram alta relação entre a densidade da madeira e a quantidade de carbono fixado.

Apesar de estarem plantados no mesmo talhão, não havendo interferência da variável local, a produção de biomassa variou em função do material genético, e do volume das árvores, fato já observado por diversos estudos com *Eucalyptus sp.* (GINWAL *et al.*, 2004; STAPE *et al.*, 2010; TRUGILHO *et al.*, 2010; DANISH; AHMAD, 2018; HUMPHREY *et al.*, 2019). O clone *E. urophylla* x *E. grandis* 1 apresentou os maiores estoques de carbono nos três espaçamentos avaliados, mostrando maior eficiência na produção de biomassa, apesar do estoque de carbono apresentar pouca variação entre os espaçamentos 3,15 m x 3,0 m e 6,1 m x 3,0 m. O uso desse espaçamento intermediário resulta em árvores com maiores diâmetros, podendo ser aplicadas em outras áreas do processamento da madeira, como a produção de madeira sólida.

O clone de *E. saligna* apresentou menor volume de madeira produzido e menor quantidade de carbono estocado, fato visivelmente atribuído ao volume de madeira produzido, uma vez que não houve diferença significativa entre os teores de carbono na biomassa. Observa-se que o estoque de carbono do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* do clone 1 no maior espaçamento (8,25 m x 3 m), que apresenta menor número de árvores por hectare (404 árvores ha^{-1}), foi equivalente ao estoque de carbono de um plantio com 1058 árvores por hectare do clone de *E. saligna* no menor espaçamento (3,15 m x 3 m). Esse comportamento demonstra que, para a produção de florestas visando a fixa-

ção de carbono em madeira sólida, o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* é mais indicado, sobretudo o primeiro clone.

Os maiores espaçamentos entre árvores possibilitam a prática de sistemas agroflorestais que resultam numa maior fixação de carbono por área por meio da integração de culturas (ZARO *et al.*, 2019), além de proporcionar a produção de árvores com maiores diâmetros que podem ser destinadas à produção de madeira sólida, apresentando maior tempo de fixação desse carbono na madeira.

Assim, os resultados do estudo mostram que as práticas silviculturais são fundamentais na mitigação de gases de efeito estufa, sobretudo no armazenamento de carbono da atmosfera. Observa-se, para essas florestas, mitigação de problemas ambientais diretamente proporcional à densidade do plantio, ressaltando que a escolha do material genético é fundamental para a maior eficiência na fixação e estoque de carbono, bem como a escolha do espaçamento do plantio vinculada com a finalidade da produção da madeira.

5 CONCLUSÃO

A escolha do material genético influencia na quantidade de carbono estocado. Clones do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* apresentam maior produção de biomassa que o clone de *E. saligna*, com consequente maior estoque de carbono na madeira. A produção de biomassa e estoque de carbono em plantios florestais pode ser manipulada por meio do espaçamento, sendo que quanto maior o adensamento, maior o estoque.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MATOS, P. S.; SANQUETTA, C. R.; MONROE, P. H. M. Inventory of organic carbon in a *Pterogyne nitens*Tul. plantation in southwest Bahia, Brazil. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. 4, p. 5-10, 2019.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.
- BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; CASTRO, R. V. O.; BASSO, V. M. Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em Viçosa -MG. *Revista Árvore*, v. 37, n. 6, p. 1073-1081, 2013.
- CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA NETO, V. B.; LEITE, A. P.; MAGALHÃES, F. F.; CRUZ, G. H. M. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato Grossense. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*, Ituiutaba, v. 3, n. 2, p. 498-512, 2012.
- CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.
- DANISH, M.; AHMAD, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 87, p. 1-21, 2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- GINWAL, H. S.; KUMAR, P.; SHARMA, V. K.; MANDALAND, A. K.; HARDWOOD, C. E. Genetic variability and early growth performance of *Eucalyptus tereticornis* Sm. in provenance cum progeny trials in India. *Silvae Genetica*, v. 53, n. 4-5, p. 148-153, 2004.

- GUPTA, D. K.; BHATT, R. K.; KEERTHIKA, A.; NOOR MOHAMMED, M. B.; SHUKLA, A. K.; JANGI, B. L. Carbon sequestration potential of *Hardwickia binata* Roxb. based agroforestry in hot semi-arid environment of India: An assessment of tree density impact. **Current Science**, v. 116, n. 1, p. 112-116, 2019.
- HUMPHREY, A.; HARRISON, T.; FRANCIS, M.; JOHN, O.; WINGRED, M.; RICHARD, O. On-farm tree abundance and biomass carbon stocks of *Grevillea robusta* and *Eucalyptus saligna* on farms around Kakamega Forest. **American Journal of Agriculture and Forestry**, v. 7, n. 5, p. 162-167, 2019.
- IBGE. PEVS - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018>. Acesso em:
- IPCC. Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. [s.l.: s.n.] 2014.
- KUMAR, M.; SUNDARAM, S.; GNANSOUNOU, E.; LARROCHE, C.; THAKUR, S. Carbon dioxide capture, storage and production of biofuel and biomaterials by bacteria: a review. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1059-1068, 2018.
- MAGNAGO, L. M.; ARANTES, M. D. C.; VIDAURRE, G. B.; MOULIN, J. C.; TRUGILHO, P. F. Estimativa energética e estoque de carbono em Povoamentos de eucalipto de curta rotação. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 527-534, 2016.
- MUGASHA, W. A.; EID, T.; BOLLANDSAS, O. M.; MALIMBWI, R. E.; CHAMSHAMA, S. A. O.; ZAHABU, E.; KATANI, J. Z. Allometric models for prediction of above and below ground biomass of trees in the miombo woodlands of Tanzania. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 87-101, 2013.
- NAGAR, B.; RAWAT, S.; RATHIESH, P.; SEKAR, I. I. Impact of initial spacing on growth and yield of *Eucalyptus camaldulensis* in arid region of India. **World Applied Sciences Journal**, v. 33, p. 1362-1368, 2015.
- SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.
- SCHWERZ, F.; ELOYB, E.; ELLIC, E. F.; CARON, B. O. Reduced planting spacing increase radiation use efficiency and biomass for energy in black wattle plantations: Towards sustainable production systems. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 229-239, 2019.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1684-1694, 2010.
- TRUGILHO, P. F.; ARANTES, M. D. C.; PÁDUA, F. A.; ALMADO, R. P.; BALIZ, A. E. R. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 33-40, 2010.
- ZARO, G. C.; CARAMORI, P. H.; YADA JUNIOR, G. M.; SANQUETTA, C. R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; NUNES, A. L. P.; PRETE, C. E. C.; VORONEY, P. Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, p. 1-11, 2019.