

Estoque de carbono e energia em plantios de *Eucalyptus* no estado do Pará

Rudson Silva Oliveira ¹; Cícero Jorge Fonseca Dolácio ¹; Sandra Lúcia Soares Mayer ¹; Eloisa Camilo Mossato ²; Bruna de Carvalho dos Santos ³; Dimas Agostinho da Silva ¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais / Universidade Federal do Paraná; ² Graduanda em Engenharia Industrial Madeireira / Universidade Federal do Paraná; ³ Graduanda em Engenharia Florestal / Universidade Federal do Paraná

Resumo: Os plantios florestais de *Eucalyptus* têm se destacado pelo seu rápido crescimento, elevada capacidade em estocar carbono e potencial energético. Entretanto, devido a incipiência de informações acerca desse gênero na Amazônia, nosso estudo buscou quantificar o estoque em carbono orgânico e energia potencial na biomassa dos diferentes componentes de *Eucalyptus* plantados no estado do Pará; e avaliar o seu potencial em sequestrar CO₂ atmosférico. Os dados são referentes a dois materiais genéticos (Clone A e Clone B) com 55 meses de idade, em que foram coletadas seis árvores amostras por clone. O experimento foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x5 (Clone x Componente). Os resultados apontaram haver diferença significativa entre os componentes analisados; em que o fuste apresentou os maiores valores em acúmulo de carbono orgânico e energia potencial em sua biomassa; além de que ambos os clones apresentaram potencial em sequestrar CO₂ atmosférico.

Palavras-chave: Amazônia, Florestas energéticas, Energia da biomassa.

Carbon and energy stock in *Eucalyptus* stands in state of Pará

Abstract: *Eucalyptus* forest stands have been notable for their rapid growth, high capacity to store carbon and energy potential. However, due to the incipience of information about this genus in the Amazon our study sought to quantify the stock of organic carbon and potential energy in the biomass of the different components of *Eucalyptus* planted in the state of Pará; and assess their potential in sequestering atmospheric CO₂. The data refer to two genetic materials (Clone A and Clone B) at 55 months of age in which six samples were collected per clone. The experiment was evaluated in a completely randomized design in a 2x5 factorial scheme (Clone x Component). The results indicated that there was a significant difference between the analyzed components; where the stem presented the highest values in the accumulation of organic carbon and potential energy in its biomass; beyond that both clones showed potential in atmospheric CO₂ sequestration.

Keywords: Amazon, Forest energetic, Energy of biomass.

1. INTRODUÇÃO

No contexto global de mudanças climáticas, o aumento na emissão de gases do efeito estufa tem recebido atenção mundial e para mitigar a emissão desses poluentes, combustíveis alternativos têm sido estudados em todo o mundo visando a substituição das fontes fósseis (Lu & Chen, 2015).

Para esta finalidade, os plantios florestais de *Eucalyptus* se destacam devido ao seu rápido crescimento, elevada capacidade em fixar carbono em sua fitomassa e o potencial de uso bioenergético. O Brasil apresenta extensas áreas plantadas com este gênero (5,7 milhões hectares (ha)), principalmente nas regiões sul e sudeste, entretanto, nos últimos anos houve incremento em área plantada de 4,4% nos estados que compõem a Amazônia Oriental, com destaque para o Pará, Maranhão e Mato Grosso (Ibá, 2017)

Nesse contexto, sob a hipótese de que houvesse diferença no estoque em carbono e energia na biomassa dos componentes folha, galho seco, galho verde, casca e fuste em indivíduos de *Eucalyptus*; o objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque em carbono orgânico e energia potencial na biomassa dos diferentes componentes em plantios de *Eucalyptus* no estado do Pará; e avaliar o seu potencial em sequestrar dióxido de carbono atmosférico

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em plantios experimentais de *Eucalyptus* aos 55 meses de idade, implantados sob espaçamento de 3x2 metros (m), situados nas coordenadas UTM 880220 L e 9539788 S, a 260 m de altitude, localizado no município de Dom Elizeu, pertencente a mesorregião sudeste do Estado do Pará.

Foram utilizados dois materiais genéticos, sendo *Eucalyptus urophylla* (Clone A) e um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis* (Clone B), cada Clone estava implantado em áreas experimentais com 600 m² e com as mesmas condições fisioedafoclimáticas.

Para a determinação da biomassa verde e realização das análises foram escolhidas seis árvores, sendo estas cortadas o mais próximo do solo com auxílio de motosserra para um maior aproveitamento da biomassa aérea, logo em seguida, o indivíduo foi segregado em cinco componentes, fuste, galhos secos, galhos verdes, folhas e casca, e aferida sua massa verde ainda em campo.

Para a determinação do teor de matéria seca, carbono orgânico e poder calorífico superior foram coletados cerca de 0,5 quilograma (kg) de material dos componentes amostrados, exceto para

o fuste, no qual foi retirado discos de 2,5 cm de espessura em cinco posições longitudinais, sendo elas a 2%, 10%, 30%, 50% e 75% da sua altura comercial, considerada até um diâmetro mínimo de 5 cm com casca conforme metodologia proposta por Downes et al. (1997).

Posteriormente, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 5 °C até atingirem massa constante, de posse dos dados, a biomassa seca por componente foi calculada por meio da equação (1). O poder calorífico superior foi determinado em um calorímetro digital da marca IKA® modelo C5000, de acordo com as diretrizes da Astm (2004); o poder calorífico inferior, útil e o estoque em energia potencial foram calculados pelas equações (2), (3) e (4), respectivamente.

A determinação do carbono orgânico foi realizada por combustão a seco em um analisador elementar da marca LECO® modelo C-144, e o estoque em carbono foi estimado a partir da equação (5). A quantificação do CO₂ atmosférico bruto sequestrado pelos materiais genéticos foi calculado por estequiometria (6), assumindo os valores das massas atômicas: C = 12 g mol⁻¹ e O = 16 g mol⁻¹, logo CO₂ = 44 g mol⁻¹, de acordo com Sanquetta et al. (2018).

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

Em que: Bio = biomassa seca por componente (Mg ha⁻¹); MU_i = massa verde por componente (Mg ha⁻¹); MS_i = massa seca da amostra (Mg ha⁻¹) e MU_{ai} = massa verde da amostra (Mg ha⁻¹); PCI = poder calorífico inferior (kcal kg⁻¹); PCS = poder calorífico superior (kcal kg⁻¹); 600 = calor latente de condensação da água (kcal kg⁻¹); H = teor de hidrogênio na biomassa, adotado como 6% neste trabalho; PCU = poder calorífico útil (kcal kg⁻¹); Ubu = umidade na base úmida (%)

EP = estoque em energia potencial (Gcal ha⁻¹); EC = estoque em carbono orgânico (Mg ha⁻¹); TCo = teor de carbono orgânico (%); CO₂ = dióxido de carbono assimilado (Mg ha⁻¹).

O experimento foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial de 2x5 (Clone x Componente) e com seis replicas (árvores amostras). Os dados foram analisados com o auxílio do *software* R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018), a partir da análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p < 0.05$) e quando as diferenças foram significativas, aplicou-se o teste de

Tukey ($p < 0.05$) para a comparação das médias.

3. RESULTADOS

Os materiais genéticos, conforme a Tabela 1, apresentaram pouca variação para diâmetro e altura total, entretanto, uma elevada produtividade, com volumes acima de $210 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e incrementos superiores a $44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; a densidade básica da madeira variou de $438 - 489 \text{ kg m}^{-3}$ e a umidade oscilou entre $11 - 72\%$ para os componentes.

Tabela 1. Valores médios das variáveis dendrométricas e para densidade básica dos materiais genéticos de *Eucalyptus* plantados no Pará

Material Genético	DAP (cm)	Altura total (m)	Volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	IMA ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Densidade básica (kg m^{-3})
Clone A	13,91	23,01	211,60	45,02	489
Clone B	14,46	21,07	210,13	44,71	438

DAP = diâmetro a 1,30 metros do solo.

A análise de variância revelou haver diferença significativa entre os fatores analisados para a variável PCS, com destaque para o Clone B que apresentou as maiores médias para fuste e folha; ao comparar as médias dos componentes observou-se que as folhas foram responsáveis pelas maiores médias, enquanto que a casca os menores valores em energia. Para o teor de carbono orgânico, apenas para o fator componente obteve diferença estatística, em que as folhas apontaram haver maior concentração deste elemento (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios para o Poder calorífico superior e carbono orgânico dos materiais genéticos de *Eucalyptus* plantados no Pará

Componente	Material genético			
	Clone A		Clone B	
	Poder calorífico superior (kcal kg^{-1})	Carbono Orgânico (%)	Poder calorífico superior (kcal kg^{-1})	Carbono Orgânico (%)
Folha	$5027 \pm 1,63$ Ba	$48,40 \pm 0,10$ a	$5060 \pm 2,90$ Aa	$49,54 \pm 0,08$ a
Galho Seco	$4627 \pm 2,17$ Ab	$46,51 \pm 0,11$ b	$4582 \pm 2,79$ Bc	$45,92 \pm 0,09$ b
Galho Verde	$4591 \pm 1,31$ Ac	$43,92 \pm 0,13$ b	$4386 \pm 3,14$ Bd	$41,41 \pm 0,06$ b
Fuste	$4588 \pm 1,60$ Bd	$44,14 \pm 0,06$ b	$4599 \pm 1,27$ Ab	$44,58 \pm 0,08$ b
Casca	$4124 \pm 1,91$ Be	$43,74 \pm 0,07$ b	$4261 \pm 1,40$ Ae	$39,28 \pm 0,08$ b

Letras maiúsculas seguidas da mesma letra não diferem entre os clones; letras minúsculas seguidas da mesma letra não diferem entres os componentes.

Para as variáveis massa seca, estoque de carbono e energia potencial (Tabela 3) a análise de

variância apontou não haver diferença significativa para a interação, indicando que os fatores são independentes, sendo que apenas os componentes apresentaram significância.

Tabela 3. Valores médios das variáveis massa seca, estoque em carbono e energia potencial dos materiais genéticos de *Eucalyptus* plantados no Pará

Componente	Material genético		
	Clone A		
	Massa Seca (kg arv ⁻¹)	Estoque Carbono (kg arv ⁻¹)	Estoque Energia Potencial (Mcal kg ⁻¹ arv ⁻¹)
Fuste	77,12 ± 3,16 a	34,04 ± 2,09 a	326,93 ± 6,51 a
Casca	5,46 ± 0,78 b	2,39 ± 0,51 b	20,57 ± 1,51 b
Galho Verde	3,93 ± 1,05 b	1,73 ± 0,70 b	16,65 ± 2,16 b
Galho Seco	0,98 ± 0,55 b	0,45 ± 0,38 b	4,20 ± 1,13 b
Folha	3,11 ± 1,02 b	1,51 ± 0,72 b	14,60 ± 0,72 b
	Clone B		
Fuste	68,66 ± 3,88 a	30,61 ± 2,60 a	291,00 ± 8,01 a
Casca	6,12 ± 1,10 b	2,41 ± 0,70 b	23,93 ± 2,17 b
Galho Verde	3,27 ± 0,81 b	1,35 ± 0,52 b	13,21 ± 1,63 b
Galho Seco	3,22 ± 1,19 b	1,48 ± 0,81 b	13,68 ± 2,46 b
Folha	2,15 ± 0,84 b	1,07 ± 0,60 b	10,10 ± 1,83 b

Letras minúsculas seguidas da mesma letra não diferem entre os componentes.

O componente fuste foi o que demonstrou as maiores médias diferindo dos demais, por ser a parte que mais contribui para composição de biomassa seca total da árvore, seguido da casca, galhos e folhas. O Clone A se destacou por apresentar a maior produção de biomassa (90,5 kg arv⁻¹), estoque de carbono orgânico (40,1 kg arv⁻¹) e energia potencial (382 Mcal kg⁻¹ arv⁻¹).

A produção de biomassa individual influenciou na produtividade do povoamento do Clone A (102 Mg ha⁻¹) e Clone B (96 Mg ha⁻¹), este resultado em função do teor de carbono e do valor energético resultou em 45 Mg ha⁻¹ e 42 Mg ha⁻¹ de estoque de carbono e 433 Gcal ha⁻¹ e 406 Gcal ha⁻¹ de estoque em energia potencial para o Clone A e B, respectivamente.

A partir do estoque de carbono na biomassa verificou-se que o Clone A e o Clone B foram responsáveis por assimilarem 166 ton ha⁻¹ e 155 ton ha⁻¹ de CO₂ atmosférico bruto, respectivamente, durante o período de desenvolvimento do povoamento.

4. DISCUSSÃO

A produção de energia a partir da biomassa pode ser considerada um processo de carbono neutro uma vez que os indivíduos vegetais tem a capacidade de assimilar o CO₂ atmosférico a partir da atividade fotossintética durante o seu crescimento e libera-lo quando transformada em energia

via combustão, diferentemente dos combustíveis fósseis que apenas contribuem para aumento da quantidade de CO₂ atmosférico durante a queima (Crow et al., 2016).

A quantidade de energia liberada pela biomassa durante o processo de combustão é um dos principais indicativos de qualidade para seu emprego bioenergético, logo, com exceção da casca, todos os componentes de ambos os materiais genéticos apresentaram resultados satisfatórios visando seu emprego energético, com resultados médios acima de 4300 kcal kg⁻¹.

E os altos valores para PCS e carbono orgânico das folhas podem ser relacionados a quantidade de material extrativo, óleos essenciais, resinas e alguns carboidratos que se degradam a baixas temperaturas durante a combustão, sendo que esses resultados vão de encontro ao observado por Simetti et al. (2018) para espécies do gênero *Eucalyptus*.

O acúmulo de biomassa observado em ordem decrescente foi fuste > casca > galho verde > galho seco e folhas, sendo que o estoque de carbono orgânico foi diretamente influenciado pela quantidade de massa seca dos indivíduos uma vez que o percentual de carbono não apontou variações significantes. Os elevados valores encontrados para o estoque em energia potencial e de CO₂ atmosférico assimilado evidenciam o potencial dos materiais genéticos para a geração de bioenergia, além de promover a fixação de CO₂ contribuindo para a redução dos gases do efeito estufa.

5. CONCLUSÕES

- Os componentes avaliados foram diferentes estatisticamente, confirmando a hipótese levantada pela pesquisa. O Fuste é o componente com maior produção de biomassa e, conseqüentemente, responsável por um elevado estoque de carbono orgânico e energia potencial.
- Ambos os materiais genéticos apresentam potencial em sequestrar CO₂ atmosférico, entretanto, o Clone A é o que mais se destacou quanto à quantidade de carbono e energia potencial estocada em sua biomassa, sendo este um material potencial para o cultivo visando o uso bioenergético.

6. REFERÊNCIAS

Astm International. E711-87: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter. West Conshohocken, 2004.

Crow, S. E.; Reeves, M.; Turn, S.; Taniguchi, S.; Schubert, O. S.; Koch, N. Carbon balance implications of land use change from pasture to managed eucalyptus forest in Hawaii. Carbon

Management 2016; 7 (4): 171–181.

Lu, J. J.; Chen, W. H. Investigation on the ignition and burnout temperatures of bamboo and sugarcane bagasse by thermogravimetric analysis. *Applied Energy* 2015; 160 (1): 49–57.

R Core Team, R. R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria. R Foundation for Statistical Computing, 2018.

Sanquetta, C. R.; Dalla Corte, A. P.; Pelissari, A. L.; Tomé, M.; Maas, G. C. B.; Sanquetta, M. N. I. Dynamics of carbon and CO₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990–2016. *Carbon Balance and Management* 2018; 13 (1): 20 – 22.

Simetti, R.; Bonduelle, G. M.; Silva, D. A. da; Mayer, S. L. S.; Souza, H. P.; Muniz, G. I. B. de. Production of biomass and energy stock for five *Eucalyptus* species. *Revista Ciência da Madeira – RCM* 2018; 9 (1): 30–36.

