

# AVALIAÇÃO DE UM CLONE DE EUCALIPTO ESTABELECIDO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ENERGIA<sup>1</sup>

## *Biomass and Energy Yield Evaluation of a Eucalypt Clone, Established at Different Planting Densities*

Marcelo Dias Müller<sup>2</sup>, Laércio Couto<sup>3</sup>, Helio Garcia Leite<sup>4</sup> e José Otávio Brito<sup>5</sup>

**Resumo:** No presente trabalho objetivou-se avaliar a produção de biomassa e energia em diferentes espaçamentos de plantio de um clone de eucalipto. Para tanto, foi implantado um experimento em áreas da ACESITA Energética, no município de Itamarandiba-MG, utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições, no esquema de parcelas subdivididas (“*Split Plot in time*”). As parcelas foram constituídas por cinco espaçamentos iniciais de plantio e a subparcela, pelas épocas de medição (7, 12, 18 e 24 meses). Foram realizadas medições do DAP e da altura total, bem como foram retiradas amostras do tronco para determinação do poder calorífico superior da madeira aos 24 meses de idade. A partir dos dados de produção em biomassa/hectare, foi calculada a área necessária para atender a três plantas com diferentes capacidades instaladas (1MW, 5MW e 10MW). Foram observados valores decrescentes de biomassa por hectare com o aumento do espaçamento entre plantas, o mesmo acontecendo para o poder calorífico. Sendo assim, considerando a produção de biomassa e a energia por unidade de área, a área de plantio necessária para atender a cada planta apresentou também relação inversa com a densidade de plantio.

**Palavras-chave:** Biomassa, floresta energética e dendroenergia.

**Abstract:** The main objective of this work was to evaluate biomass and energy yield of clonal eucalypt species at different planting densities. Thus, a research trial was established in an area owned by ACESITA Energética, in Itamarandiba, MG, using a randomized block design with 3 replications, (split plots in time). The treatments consisted of 5 initial planting densities with measurements taken at the ages of 7, 12, 18 and 24 months. DAP and total height measurements as well as wood samples for calorific power determination were taken at 24 months of age. Based on biomass yield per hectare, the area needed to supply three power plants with different electricity capacities (1MW, 5MW and 10MW) was estimated. Decreasing biomass values inversally proportional to the planting spacing were observed, the same occurring to calorific power. Thus, considering biomass and energy yield per area, the area needed to be planted to supply each electrical facility was inversely proportional to eucalypt plantation density.

**Keywords:** Biomass, energetic forest and dendroenergy.

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 28.3.2006 e aceito em 2.6.2006.

<sup>2</sup> Eng. Florestal, D.S., Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, Belo Horizonte-MG, <marcelo.muller@cemig.com.br>. <sup>3</sup> Presidente da Rede Nacional de Biomassa para Energia – RENABIO, <presidencia@renabio.org.br>. <sup>4</sup> Prof. do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, <hgleito@ufv.br>. <sup>5</sup> Prof. do Departamento de Engenharia Florestal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, <jotbrito@esalq.usp.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as fontes renováveis de energia representam 43,8% da matriz energética, enquanto no mundo essa taxa é de 14% e nos países desenvolvidos é de 6%. Desses 43,8% de energia renovável, 14,6% correspondem à energia hidráulica e 29,2% à energia de biomassa, sendo aproximadamente 12,9% de origem florestal (lenha e carvão vegetal). A biomassa florestal representa, portanto, a terceira fonte de energia da matriz nacional. Mais especificamente, com relação à geração de energia elétrica, a fonte energética mais representativa é a hidráulica, com participação de 74,3%. Comparativamente à estrutura mundial (onde a participação da energia hidráulica é de 16,6%), nota-se que a hidroeletricidade no Brasil apresenta um peso bastante significativo (BRASIL, 2004).

À luz do conhecimento atual, diante das perspectivas de esgotamento das fontes energéticas não-renováveis, ressalta-se a necessidade de repensar o processo de desenvolvimento econômico, de forma a não comprometer o atendimento à demanda das gerações futuras.

Dentro desse contexto, o uso da biomassa como insumo para geração de energia elétrica reveste-se de notável importância na busca de alternativas energéticas, tendo em vista que se trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional.

A utilização da biomassa como insumo energético é uma tendência mundial. A motivação para esta nova tendência é a necessidade de redução na utilização de derivados de fontes fósseis, como forma de se tornar independente dos países exportadores, bem como reduzir as emissões de gases nocivos à atmosfera.

Na maioria dos casos, o aproveitamento da biomassa se faz pela utilização de resíduos agrícolas e florestais, resíduos gerados na

indústria florestal (licor negro, serragem, maravalhas, ponteiros etc.) e resíduos do lixo urbano. Entretanto, considerando um cenário de expansão da geração de eletricidade a partir da biomassa, o suprimento de matéria-prima estaria condicionado à expansão da atividade agrícola e florestal, bem como da indústria.

Da mesma forma, vale considerar que o aproveitamento de resíduos culturais (agrícolas e florestais) como fonte de insumos para geração de energia elétrica implica a remoção de uma importante fonte de nutrientes e matéria orgânica<sup>1</sup> para o solo, o que não é interessante tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

Por outro lado, plantar florestas (florestas ou plantações energéticas) com a finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à geração de eletricidade cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo.

Ciente dos avanços tecnológicos conquistados tanto na área da geração de eletricidade, a partir de biomassa, quanto na silvicultura brasileira (aumento de produtividade, melhoramento genético, redução de custos etc.), é possível vislumbrar um cenário favorável ao desenvolvimento de plantações energéticas (florestas energéticas) como fonte de matéria-prima para geração elétrica.

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho foi mostrar o potencial da biomassa florestal para geração de energia elétrica no Brasil, por meio da simulação de um projeto

<sup>1</sup> Rezende et al. (1983) observaram que, apesar de representar apenas 20% da biomassa total da árvore, a copa retém entre 50 e 60% dos nutrientes, com destaque para N, P e K (essa tendência não é observada no caso do Ca, que é imobilizado em maior quantidade – em torno de 60% – na casca).

piloto de reflorestamento com um clone de eucalipto. Mais especificamente, objetivou-se determinar a densidade de plantio, a produção de biomassa, bem como os aspectos econômicos da geração elétrica a partir da biomassa florestal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, onde a parcela foi representada pelo espaçamento e a subparcela pela idade de aferição dos dados.

Cada parcela experimental foi constituída de seis linhas de plantio, e em cada linha foram plantadas 28 árvores, perfazendo um total de 168 árvores por tratamento (Figura 1).

O material genético utilizado foi um clone de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Foram estabelecidos três blocos, cada qual contemplando cinco tratamentos (espaçamentos). Foi mantido o espaçamento de 3 m entre as linhas, e entre as plantas os espaçamentos variaram de 0,5 a 3 m. Assim, os espaçamentos utilizados foram: 3,0 x 0,5 m, 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 1,5 m, 3,0 x 2,0 m e 3,0 x 3,0 m.

A partir do sexto até o 24<sup>o</sup> mês, foram realizadas coletas semestrais dos dados de campo, tendo sido mensurados o diâmetro, a altura do peito (DAP) e altura total das árvores.

### 2.2 Coleta de dados

#### 2.2.1 Dendrometria

Foram coletados dados de altura total e DAP de oito árvores, selecionadas ao acaso, em cada tratamento.

Com a finalidade de determinar o volume sólido (m<sup>3</sup>) e a densidade, aos 24 meses de idade, foi abatida e cubada a árvore média em cada tratamento. Para isto foi utilizado o método de Smalian, com seções a cada 1,5 m.

#### 2.2.2 Densidade da madeira

Foram retirados discos (de aproximadamente 5 cm de espessura) a cada 1,5 m, de cada árvore abatida (na cubagem), para determinação, em laboratório, da densidade da madeira pelo método de imersão.

A densidade básica média de cada árvore foi calculada como sendo a média ponderada da densidade de cada disco, utilizando como fator de ponderação o volume da tora, segundo a fórmula de Smalian.

Para o cálculo da densidade básica foi utilizada a expressão:

$$DB = \frac{M_s}{V_v}$$

em que  $DB$  = densidade básica (g cm<sup>-3</sup>);  $V_v$  = volume dos corpos-de-prova verdes (cm<sup>3</sup>); e  $M_s$  = massa dos corpos-de-prova absolutamente secos (g).

#### 2.2.3 Poder calorífico da madeira

O poder calorífico superior (PCS) da madeira foi determinado a partir do método da bomba calorimétrica. A fórmula final utilizada para o cálculo do poder calorífico foi:

$$P_{CS} = \frac{C \cdot \Delta t - (c1 + c2)}{m}$$

em que  $P_{CS}$  = poder calorífico superior, em cal g<sup>-1</sup> ou kcal kg<sup>-1</sup>;  $C$  = constante do calorímetro = 2.461,98 (obtido através de inúmeros testes para calibração);  $\Delta t$  = diferença de leituras dos termômetros (antes e após queima – temperatura final – temperatura

inicial);  $c_1$  = correção em calorias para cada centímetro de fio queimado = 2,3 cal cm<sup>-1</sup> (dados médios de laboratório indicam que geralmente todo o fio é queimado, gerando cerca de 20 calorias);  $c_2$  = correção para calorias para titulação em ácido nítrico, em mL (dados médios de laboratório indicam 3 mL para carvão e 2 mL para madeira); e  $m$  = massa inicial em gramas.

## 2.3 Tratamento dos dados

### 2.3.1 Estimação da área basal, volume e biomassa por hectare

A área basal ha<sup>-1</sup> foi calculada a partir dos dados de DAP, por meio da seguinte expressão:

$$B = \frac{\pi(DAP)^2}{4}$$

em que DAP = diâmetro à altura do peito (em cm); e B = área basal (em ha).

O volume individual ( $V$ ) das árvores foi calculado a partir dos dados da cubagem, considerando os diâmetros com e sem casca, por meio da fórmula de Smalian:

$$V = \frac{\pi}{80.000} (D_1^2 + D_2^2) L$$

em que  $D_1$  = diâmetro na base do tronco, em cm;  $D_2$  = diâmetro a 50% do comprimento do tronco, em cm; e  $L$  = comprimento do tronco, em m.

A biomassa de madeira ha<sup>-1</sup> foi determinada, multiplicando-se o valor do volume (em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) pela densidade da madeira.

### 2.3.2 Análise estatística

Foi realizada uma análise de variância do modelo em parcelas subdivididas, para verificar as diferenças entre os valores de área basal entre espaçamentos.

O modelo a seguir foi ajustado para cada espaçamento.

$$\ln B = \beta_0 + \beta_1 * I$$

em que B = área basal; e I = idade (em meses).

### 2.2.3 Quantidade de energia por hectare e área necessária em função da potência instalada (MW)

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare, expressa em kcal ha<sup>-1</sup>, multiplicou-se o peso de matéria seca pelo poder calorífico da madeira, em cada tratamento.

O cálculo considerou a utilização da madeira com e sem casca. Para tanto, multiplicou-se o peso seco da madeira pela porcentagem de madeira (em cada espaçamento) e posteriormente pelo PCS.

A partir dos resultados de volume e biomassa, bem como de poder calorífico da madeira, foi calculada a área necessária para abastecer uma unidade de geração (por MW gerado).

Na simulação, foram considerados três cenários diferentes: uma planta de 1 MW, 5 MW e 10 MW.

Dessa maneira, foi considerado um modelo de cálculo proposto por Carvalho (20-):

- Fator de carga de 0,60.
- Fator de disponibilidade de 0,97.

A produção de energia dessa central, em 1 ano:

$$\text{Potência (em KW)} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ dias} \times 0,97 \times 0,60 = X \text{ kWh}$$

Considerando uma eficiência termodinâmica da ordem de 33%, calcula-se o consumo de energia térmica:

$$3 \times X \text{ kWh} = Y \text{ kWh térmicos}$$

Para gerar essa energia, calcula-se o consumo de lenha (kg):

$$Y \text{ kWh} \times 860 \text{ kcal kWh}^{-1} / \text{PCS kcal kg}^{-1} = \\ X \text{ kg de lenha}$$

Admitindo uma eficiência de 80% na conversão árvore => lenha => calor, serão necessários  $X \text{ kg de lenha} / 0,8 = Y$  toneladas (t) de lenha.

Por fim, a área necessária para atender à demanda de lenha, em função da potência instalada, foi calculada ao dividir o consumo de lenha pela produção (em  $\text{t ha}^{-1}$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Avaliação do crescimento

Tendo em vista que o experimento foi acompanhado até 2 anos (24 meses), foi feita uma avaliação preliminar do crescimento em diâmetro (diâmetro a altura do peito – DAP) e área basal (B). Os tratamentos com menor densidade de plantio apresentaram os maiores valores de DAP. Com isso, nota-se que o incremento médio mensal apresenta uma relação direta com o aumento do espaçamento de plantio (Figura 1).

Por outro lado, a área basal apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre as plantas, o que já era esperado (Figura 2).

Pode-se observar, na Figura 3, a tendência de crescimento em área basal, nos diferentes espaçamentos e idades. A curva de crescimento mais acentuada é observada no espaçamento  $3 \times 0,5 \text{ m}$  e a curva menos acentuada, no espaçamento  $3 \times 3 \text{ m}$ . Esta tendência se justifica em função da maior competição entre as plantas nos espaçamentos mais reduzidos, o que proporciona maior incremento corrente anual.

As equações ajustadas para cada espaçamento são apresentadas a seguir:

$$3,0 \times 0,5: \ln B = 0,84038436 + 0,098014548 * I \\ (r^2 = 0,95211)$$

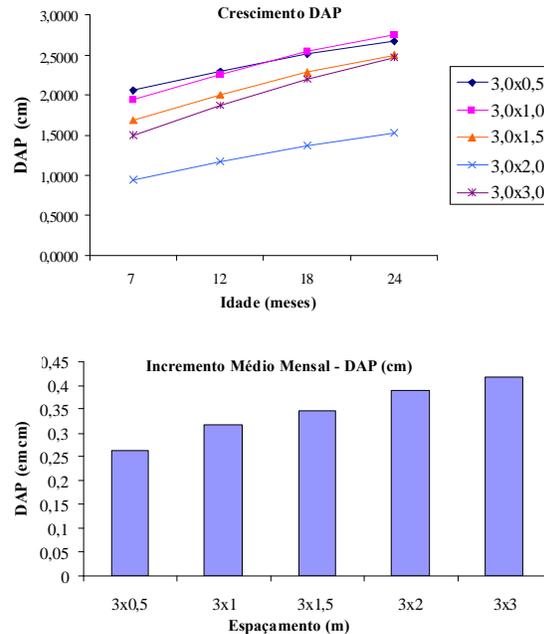


Figura 1 – Crescimento do DAP em diferentes espaçamentos e idades.

Figure 1 – Diameter growth at different planting densities and ages.

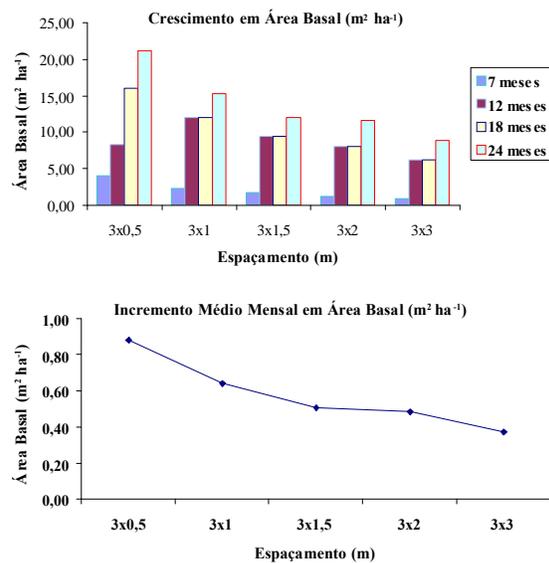


Figura 2 – Crescimento em área basal média  $\text{ha}^{-1}$  em diferentes espaçamentos e idades.

Figure 2 – Basal area growth at different planting densities and ages.

$$3,0 \times 1,0: LnB = 0,239865947 + 0,111966008 * I$$

$$(r^2 = 0,9296)$$

$$3,0 \times 1,5: LnB = -0,09971175 + 0,116633732 * I$$

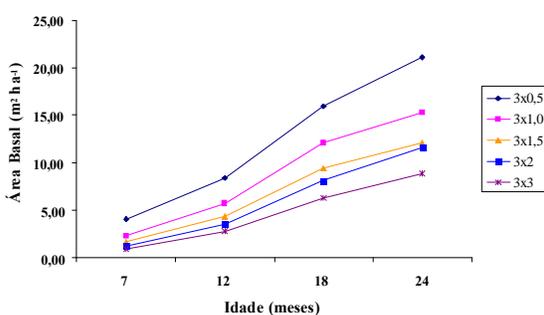
$$(r^2 = 0,9260)$$

$$3,0 \times 2,0: LnB = -0,56133641 + 0,134291436 * I$$

$$(r^2 = 0,9379)$$

$$3,0 \times 3,0: LnB = -0,72614129 + 0,129698298 * I$$

$$(r^2 = 0,9383)$$

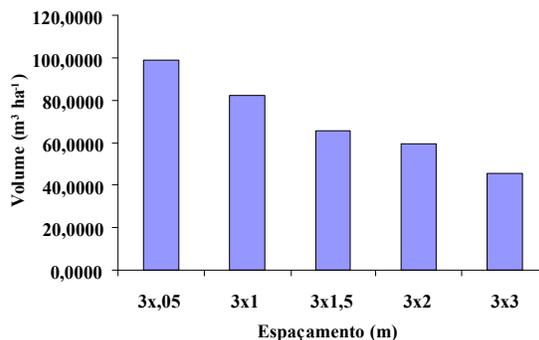


**Figura 3** – Ajuste de equações de área basal média ha<sup>-1</sup> nos diferentes espaçamentos, em função da idade.

**Figure 3** – Basal area equation regression at different planting densities per age.

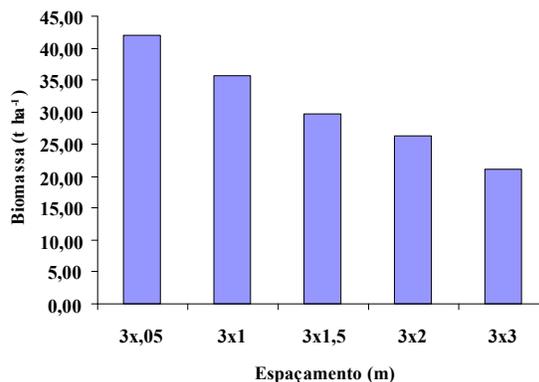
Foi observada relação direta entre o volume e peso da biomassa seca e a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades foram observados os maiores volumes de madeira e peso de biomassa seca (Figuras 4 e 5).

Os resultados apresentados na Figura 5 são corroborados por uma série de autores que têm desenvolvido vários trabalhos a respeito da influência da densidade de plantio no crescimento e na produção de plantações florestais. Dentre esses trabalhos vale ressaltar os desenvolvidos por Coelho et al. (1970), Couto (1977), Campos et al. (1990), Klein et al. (1992), Gomes (1994), Souza (1995), Leite et al. (1997), Gomes et al. (1997), Assis et al. (1999), Ladeira (1999), Schneider et al. (2000), Schneider et al. (2001) e Leles et al. (2001).



**Figura 4** – Volume (em m³ ha<sup>-1</sup>) em diferentes espaçamentos, na idade de 24 meses.

**Figure 4** – Volume (m³ ha<sup>-1</sup>) in different planting densities at 24 months of age.



**Figura 5** – Peso de biomassa seca (em t ha<sup>-1</sup>) em diferentes espaçamentos, na idade de 24 meses.

**Figure 5** – Dry matter weight (t ha<sup>-1</sup>) at different planting densities at 24 months of age.

De modo geral, em todos esses estudos pode-se observar uma tendência clara de aumento do DAP com o aumento da área útil por planta, ou seja, do espaçamento entre as plantas. Em contrapartida, os parâmetros área basal e volume total apresentaram tendências decrescentes com o aumento do espaçamento entre plantas.

Por outro lado, vale ressaltar que com o tempo a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens e que nos plantios

com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas. Isto pode ser muito importante do ponto de vista econômico, visto que é possível economizar no custo de implantação, na colheita e no transporte de madeira nos espaçamentos maiores (MELLO et al., 1971; RESENDE et al., 1983; KLEIN; FREITAS, 1988; MORA, 1986; GORGULHO et al., 1991; LISITA et al., 1997; FERREIRA et al., 1997).

### 3.2 Quantidade de energia por hectare

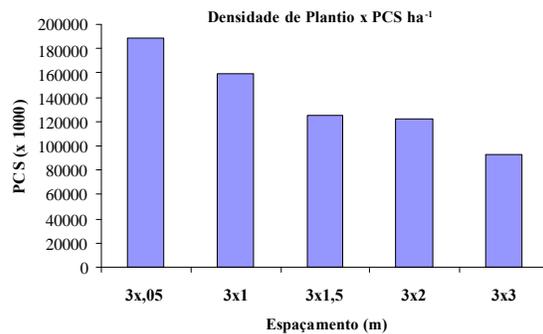
O poder calorífico por hectare foi obtido em função da quantidade de biomassa em cada espaçamento.

A Tabela 1 apresenta os resultados de poder calorífico por hectare, em cada espaçamento.

Na Figura 6 observa-se nítida tendência de aumento da quantidade de energia por

**Tabela 1** – Poder calorífico por espaçamento  
**Table 1** – Calorific power x spacing

Esp	PCS ( $10^6$ kcal ha <sup>-1</sup> )				
	3,0x0,5	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x3,0
Média	189	159	125	123	93



**Figura 6** – PCS ha<sup>-1</sup> em diversos espaçamentos, na idade de 24 meses.

**Figure 6** – PCS ha<sup>-1</sup> at different planting densities at 24 months of age.

hectare, com o aumento da densidade de plantio. Isto se deve, possivelmente, à maior quantidade de biomassa seca nos tratamentos com maior densidade de plantio.

### 3.3 Determinação da área necessária em função da potência instalada

A seguir estão os resultados de consumo de lenha, em toneladas (t), e a área, em hectares (ha), necessária para atender à demanda em função da potência instalada.

#### Planta de 1 MW

- Capacidade: 1.000 KW
- Produção de energia no período de 1 ano: 5.098.320 kWh
- Consumo (kWh térmico): 15.294.960 kWh térmicos
- Consumo de lenha:

Esp (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
<b>3,0x0,5</b>	2.356,23	2.261,54	2.412,41
<b>3,0x1,0</b>	2.330,66	2.332,21	2.431,92
<b>3,0x1,5</b>	2.507,25	2.507,25	2.503,67
<b>3,0x2,0</b>	2.219,09	2.220,50	2.372,17
<b>3,0x3,0</b>	2.412,41	2.380,75	2.381,83

Área necessária:

Esp (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
<b>3,0x0,5</b>	67	47	56
<b>3,0x1,0</b>	64	60	76
<b>3,0x1,5</b>	82	89	82
<b>3,0x2,0</b>	75	79	110
<b>3,0x3,0</b>	100	117	126

#### Planta de 5 MW

- Capacidade: 5.000 KW
- Produção de energia no período de 1 ano: 25.491.600 kWh
- Consumo (kWh térmico): 76.474.800 kWh térmicos

- Consumo de lenha:

Esp (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	11.781,16	11.307,69	12.062,05
3,0x1,0	11.653,30	11.661,05	12.159,62
3,0x1,5	12.536,26	12.536,26	12.518,36
3,0x2,0	11.095,46	11.102,48	11.860,83
3,0x3,0	12.062,05	11.903,77	11.909,16

- Área necessária:

Esp (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	335	236	281
3,0x1,0	322	301	379
3,0x1,5	409	445	409
3,0x2,0	377	397	550
3,0x3,0	501	585	632

#### Planta de 10 MW

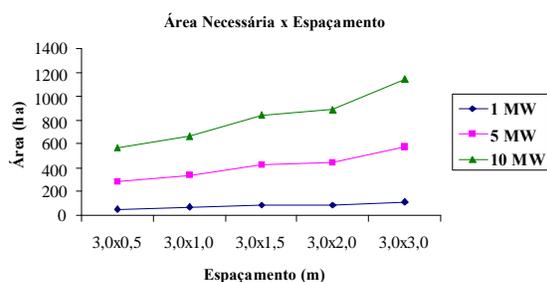
- Capacidade: 10.000 KW
- Produção de energia no período de 1 ano: 50.983.200 kWh
- Consumo (kWh térmico): 152.949.600 kWh térmicos
- Consumo de lenha:

Esp (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	23.562,32	22.615,37	24.124,10
3,0x1,0	23.306,61	23.322,10	24.319,23
3,0x1,5	25.072,51	25.072,51	25.036,72
3,0x2,0	22.190,92	22.204,96	23.721,67
3,0x3,0	24.124,10	23.807,54	23.818,32

- Área necessária:

Esp (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	670	472	561
3,0x1,0	643	602	757
3,0x1,5	818	890	817
3,0x2,0	754	794	1.100
3,0x3,0	1.002	1.170	1.264

Pela análise desses resultados, pode-se depreender que a área necessária para atender à demanda de uma unidade de geração apresenta relação direta com o aumento do espaçamento. Da mesma forma, com o aumento da potência instalada, aumenta a área necessária para atender à demanda. Esta comparação pode ser mais bem visualizada pela observação da Figura 7.



**Figura 7** – Área (ha) necessária para atender à demanda de diferentes plantas (potência instalada), em função do espaçamento (m).

**Figure 7** – Area needed to meet the demand of different power plants x planting densities.

## 4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, pode-se inferir que:

- O crescimento em área basal por hectare apresentou relação direta com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maior densidade de plantas por hectare foram observados os maiores valores de área basal. Estes valores decresceram com a diminuição dessa densidade. A mesma tendência foi observada para as variáveis volume e biomassa.
- É importante observar que na idade de 24 meses a floresta ainda não atingiu a idade de corte (subestocada), de forma que a sua exploração para geração de eletricidade acarretaria o não-aproveitamento de todo o potencial de produção de biomassa dessa floresta.

- A densidade da madeira não apresentou diferença significativa entre os diferentes espaçamentos, na idade estudada.
- O poder calorífico da madeira apresentou diferenças entre os tratamentos, não revelando, entretanto, nenhuma relação direta com a densidade de plantio. Por outro lado, a interação biomassa por hectare x poder calorífico da madeira indicou ter relação direta com a densidade de plantio, revelando maior quantidade de energia/unidade de área nos menores espaçamentos.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, R. L. et al. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 23, n. 2, p. 151-156, 1999.
- BRASIL – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: 2004. 169 p.
- CAMPOS, J. C. et al. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 14, n. 2, p.119-133, 1990.
- CARVALHO, J. F. Biomassas utilizáveis industrialmente como fonte de energia primária. In: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Biomassa – Coadjuvante na oferta total de energia**. [s.d.]. 109 p. (Coleção José Ermírio de Moraes, 8)
- COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; SIMÕES, J. M. Comportamento de espécies de eucaliptos face o espaçamento. **IPEF**, n. 1, p. 29-55, 1970.
- COUTO, L. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais**. 1977. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.
- FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.
- GOLFARI, L. Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para Reflorestamento. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF-BRA/71/545, 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).
- GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. 1994. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p.101-126, 1997.
- GORGULHO, E. P.; RAMALHO, M. P.; SOARES, A. R. Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* L. Johnson & Blaxel, em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Árvore**, v. 15, n. 3, p. 207-216, 1991.
- KLEIN, J. E. M.; FREITAS, A. J. P. Influência do espaçamento na produção de *Eucalyptus saligna* Smith. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: 1988. p. 479-492.
- KLEIN, J. E. M. et al. Produção de madeira e casca de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 2, n. 1, p. 87-97, 1992.
- LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.
- LELES, P. P. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87, 2001.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.
- LISITA, A. et al. Efeitos de reespaçamento na produção, no diâmetro médio e na estrutura de povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Árvore**, v. 21, n. 4, p. 473-482, 1997.

MELLO, H. A. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção da madeira industrial. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 13-14, 1971.

MORA, A. L. **Interação com espaçamento e locais em clones de *Eucalyptus* spp. no norte do Estado da Bahia**. 1986. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1986.

RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 219-225, 2004.

SCHNEIDER, P. R. et al. Crescimento da Acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild, em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SCHNEIDER, P. R. Produção de madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 151-165, 2001.

SOUZA, D. R. **Efeitos do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade**. 1995. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.