

## **PRODUÇÃO DE ENERGIA DO FUSTE DE *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

Ailton Teixeira do Vale<sup>1</sup>, Maria Aparecida Mourão Brasil<sup>2</sup>, Carlos Marchesi de Carvalho<sup>2</sup> e  
Ricardo Antonio de Arruda Veiga<sup>2</sup>

**RESUMO:** Com o objetivo de comparar a produção de energia da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e a de *Acacia mangium* Willd foi amostrado um fatorial de adubação no esquema 2x2x2 para N, P e K com duas repetições, na presença e ausência de cálcio, das duas espécies, aos sete anos de idade na região de Botucatu-SP. Retiraram-se, em cada tratamento, seções transversais do caule ao Dap (diâmetro à altura do peito) e a 0%, 25%, 50%, 75% e 100 % da altura comercial (altura tomada entre a base do tronco e o diâmetro mínimo, com casca, na ponta, de 4,0 cm) totalizando 128 árvores para cada espécie. Foram determinados, em cada secção, o diâmetro sem casca, o teor de umidade e a densidade básica. Com esses valores estimou-se a massa seca por árvore. De amostras compostas foram obtidos os poderes caloríficos e a quantidade de calor originado pelo fuste sem casca. Não houve influência dos níveis de adubação nos parâmetros estudados nas duas espécies. O poder calorífico superior médio foi de 4.619 kcal/kg e 4.641 kcal/kg; a massa seca de 19,76 kg/árvore e 47,83 kg/árvore e a quantidade de energia disponibilizada, na forma de calor, de 91.285,62 kcal/árvore e 222.085,31 kcal/árvore, respectivamente, para *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. Quando comparada com *A. mangium*, o *E. grandis* é a espécie que produziu mais energia, tendo em vista sua maior produção de matéria seca.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção de energia, *Eucalyptus grandis*; *Acacia mangium*.

## **ENERGY PRODUCTION OF STEM OF *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden AND *Acacia mangium* Willd IN DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION.**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to compare the energy production of *Acacia mangium* wood with *Eucalyptus grandis* at 7 years old in Botucatu-SP. Both species belonged to a 2x2x2 fertilization trial with two randomized blocks in the presence and absence of calcium. A total of 128 trees from each tree specie was sampled with wood transversal sections collected along the height of each tree, in portions corresponding to the basis (0%), 25%, 50%, 75% of merchantable height and at top (100%). It was considered the diameter top of 4,0 cm outside bark as merchantable diameter. The wood basic density was determined by water displacement method and the dry mass without bark for each tree was estimated. The calorific power was determined and the heat quantities were estimated. Fertilization levels did not affected the parameters studied for both species. The average superior calorific power was 4,619 kcal/kg and 4,641 kcal/kg; the dry mass was of 19.76 kg/tree and 47.83 kg/tree and the energy quantities, in the heat form, produced were 91,285.62 kcal/tree, and 222,085.31 kcal/tree for *Acacia mangium* and for *Eucalyptus grandis*, respectively.

**KEY-WORDS:** Production of energy, *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal/EFL/FT/UnB. Brasília-DF. CEP: 70.910-900. E-mail: [atvale@unb.br](mailto:atvale@unb.br).

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Florestais/FCA/UNESP. Campus de Botucatu - SP. CEP: 18603-970. CP.:237. Botucatu-SP. [mambrasil@laser.com.br](mailto:mambrasil@laser.com.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A lenha é o terceiro energético primário consumido no Brasil, com um valor médio, nos últimos 26 anos, de  $9,78 \times 10^7$  toneladas/ano. Em 1995, de um consumo de  $7,65 \times 10^7$  toneladas, 45,05% foram utilizados, de maneira indireta, prioritariamente para a produção de carvão vegetal e os outros 54,05% queimados diretamente em fogões e fornalhas (Ben, 1996). Desta forma, pode-se afirmar que a lenha ocupa posição importante no cenário energético nacional, tratando-se de um recurso natural renovável, que pode ter sua produção sustentável e não possui o caráter poluidor de outras fontes fósseis. Acrescente-se ainda a vocação florestal brasileira e sua grande área geográfica.

A utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, entre outros, no conhecimento do seu poder calorífico e no seu potencial para produção de biomassa.

Algumas características da madeira influenciam o valor do seu poder calorífico. Quanto menor o teor de umidade da madeira, maior será a produção de calor por unidade de massa. Farianhaque (1981) indica que, para a queima, a madeira não pode ter teor de umidade superior a 25%, pois os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape. As fórmulas de Dulong ( $PCS = 81C + 340(H - O/8)$ ) de Laut ( $PCS = 81,7C + 342,5H - 36,6$ ) mostram que o poder calorífico superior da madeira (PCS) é função da sua composição química elementar, em uma relação direta com o teor de carbono e de hidrogênio e inversa com o teor de oxigênio. Os constituintes químicos da madeira, como a celulose, a lignina, as hemiceluloses e os extrativos, também têm influência sobre o poder calorífico. Doat (1977), trabalhando com espécies tropicais, mostrou que uma madeira rica em lignina e em extrativos solúveis em compostos orgânicos têm um elevado poder calorífico. Brito (1993) relata uma variação de

3.500 a 5.000 kcal/kg no poder calorífico superior de folhosas.

Neste contexto, torna-se também importante o estudo de madeiras de espécies florestais exóticas e nativas para a produção de energia. Além das espécies, os parâmetros de crescimento volumétrico e as técnicas silviculturais que promovem este desenvolvimento são variáveis fundamentais para uma escolha adequada. O eucalipto é a espécie mais estudada, tendo em vista os múltiplos usos de sua madeira, mas, outras espécies têm chamado a atenção dos pesquisadores por suas peculiaridades. *Acacia* *Acacia* é uma leguminosa que vem sendo utilizada em alguns países pela sua rusticidade, rapidez de crescimento e tolerância a solos marginais (Nitrogen Fixing Tree Association, 1987) tendo sido indicada por Dubois (1996) para plantio em consórcios agroflorestais na Amazônia e posterior utilização em energia. Inúmeros trabalhos foram feitos com adubação em eucalipto no Brasil (Barros *et al.*, 1990) mostrando aumento do incremento de crescimento, mas poucas referências existem com respeito a *Acácia*. Daniel *et al.* (1997), por exemplo, analisaram o efeito do fósforo em mudas de *Acacia mangium*.

Vital (1990), citando vários autores, compila algumas conclusões quanto à influência da fertilização mineral na qualidade química da madeira. A adubação, causando um aumento de vigor na árvore, pode resultar em maior número de células com parede celular mais espessa. Esta alteração na parede celular pode ocasionar ligeiro aumento no teor de lignina e leve redução no teor de celulose da madeira. A adubação mineral pode também ocasionar aumento no teor de extrativos.

O presente estudo objetiva determinar o poder calorífico e a quantidade de energia produzida pelas madeiras de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* submetidas ao manejo tradicionalmente adotado para as florestas homogêneas desta última espécie, ou seja, corte raso aos sete anos de idade, adubação no plantio

e espaçamento inicial de 3,0 por 2,0 metros. O trabalho faz parte de projeto em que se estuda o crescimento do eucalipto em diferentes níveis de fertilização e a viabilidade de plantio de acacia como alternativa em áreas marginais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em um experimento de fatorial de adubação de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd, plantados na região de Botucatu, em solo classificado como latossolo vermelho amarelo fase arenosa e com espaçamento de plantio de 3 x 2 m. As coordenadas geográficas do local são 22°51' de latitude sul e 48°26' de longitude oeste e a altitude é de 786 m. O ensaio obedeceu ao esquema fatorial 2x2x2 para N, P, e K, com duas repetições e ainda na presença e ausência de calcário na subparcela, totalizando 64 tratamentos. Os fertilizantes utilizados foram o sulfato de amônio (20% de N), o superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), o cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e o calcário dolomítico. Na fertilização, o nitrogênio foi utilizado nas dosagens de 0 e 30 kg/ha, o fósforo de 0 e 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o potássio de 0 e 35 kg/ha de K<sub>2</sub>O e o cálcio de 0 e 2 t/ha. O fósforo foi aplicado em sulcos laterais um mês antes do plantio das mudas, o nitrogênio e o potássio, em cobertura, 4 meses após o plantio e o calcário incorporado ao solo com enxada no plantio. Foram também aplicados 35 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 3 t/ha de calcário, 34 meses após o plantio.

Aos sete anos de idade, após o inventário do experimento, foram amostradas secções transversais do caule ao Dap (diâmetro à altura do peito) e a 0%, 25%, 50%, 75%, e 100% da altura comercial (tomada entre a base do tronco e o diâmetro mínimo, com casca, na ponta, de 4,0

cm) de 128 árvores de cada espécie, ou seja, quatro árvores por tratamento, distribuídas pelas classes de dap. Nas secções foram determinados o diâmetro sem casca, o teor de umidade e a densidade básica da madeira. Com esses dados estimou-se a massa seca de cada árvore. Posteriormente, em amostra composta, foram estabelecidos o poder calorífico superior da madeira em calorímetro PARR 1261 e a quantidade de calor produzido pelo fuste das árvores sem casca.

A metodologia para obtenção do poder calorífico superior foi baseada no Manual de Instruções do Calorímetro PARR 1261 (1994) e na adaptação da norma ABNT-NBR 8633, segundo ESALQ (s.d.) e a estimativa da produção energética por árvore pela fórmula:

$$PE = PCS \times PM$$

em que:

PE é a produção energética em kcal;

PCS é o poder calorífico superior em kcal/kg;

PM é a produção de massa seca em kg.

A análise estatística para estimativa das diferenças entre médias foi realizada com auxílio do programa SAS (Statistical Analysis Systems).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As árvores amostradas de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* apresentaram valores médios, respectivamente, de 8,50 cm e 11,11 cm de Dap com casca e de 14,9 m e 18,5 m de altura total.

A Tabela 1 a seguir apresenta os valores de poder calorífico superior, a massa seca e a quantidade de energia, na forma de calor, disponibilizada para as duas espécies estudadas.

Tabela 1. Valores médios do poder calorífico superior (PCS), da massa seca (MS) e da quantidade de calor (QC) por nível de adubação.

Table 1. Mean values of calorific power (PCS), dry mass (MS) and quantity of heat (Qc).

Níveis de adubação	<i>Acacia mangium</i>			<i>Eucalyptus grandis</i>		
	PCS kcal/kg	MS kg/árvore	QC kcal/árvore	PCS kcal/kg	MS kg/árvore	QC kcal/árvore
0000	4.610	16,47	75.927	4.635	28,68	132.932
0001	4.631	18,32	84.440	4.613	38,74	178.708
1000	4.604	19,32	88.949	4.630	40,20	186.126
1001	4.635	15,11	70.035	4.652	52,09	242.323
0100	4.633	24,33	112.721	4.641	46,07	213.811
0101	4.613	14,69	67.765	4.615	43,20	199.368
0010	4.604	16,32	75.137	4.629	38,89	180.022
0011	4.607	19,40	89.376	4.665	48,98	228.492
1100	4.605	19,28	88.784	4.666	63,24	295.078
1101	4.628	19,55	90.477	4.633	38,29	177.398
1010	4.630	24,93	115.426	4.667	54,80	255.752
1011	4.637	25,94	120.284	4.601	36,71	168.903
0110	4.616	17,99	83.042	4.651	64,55	300.222
0111	4.600	18,08	83.168	4.633	41,20	190.880
1110	4.644	26,28	122.044	4.650	66,35	308.528
1111	4.606	20,19	92.995	4.659	63,28	294.822
Média	4.619,00	19,76	91.285,62	4641,00	47,83	222.085,31
CV	0,08	18,82	19,03	0,43	24,27	24,67

### 3.1. Poder calorífico superior

A influência indireta da adubação no poder calorífico decorrente da alteração dos teores de lignina e extrativos, citada por Vital (1990), não foi comprovada neste trabalho, uma vez que não houve diferença significativa entre os tratamentos. O valor médio encontrado para a *Acacia mangium* foi de 4.619 kcal/kg e para o *Eucalyptus grandis* de 4.641 kcal/kg. Brown *et al.* (1952), citados por Howard (1973), afirmam que o poder calorífico superior para folhosas varia na faixa de 4.600 a 4.800 kcal/kg, enquanto que, para Brito (1993), este valor para folhosas tropicais está entre 3.500 a 5.000 kcal/kg. Pode-se observar que os poderes caloríficos encontrados para as espécies em estudo satisfazem as duas faixas. Jara (1989) encontrou 4.550 kcal/kg para *Acacia decurrens* (acacia negra), aos cinco anos de idade e 4.790 kcal/kg para o *Eucalyptus grandis* aos dez anos de idade.

### 3.2. Massa seca

A massa seca média da parte comercial do fuste da *Acacia mangium* foi de 19,76 kg por árvore, diferente estatisticamente do *Eucalyptus*

*grandis*, cujo valor foi de 47,83 kg, conforme Tabela 1. Lim *et al.* (1985) encontraram valor médio de 64,1 kg/planta para *Acacia mangium*.

A resposta do *E. grandis* à adubação sempre foi, independente do nível, superior à testemunha e muito superior a da *Acacia mangium* (Tabela 1). Para alguns tratamentos de *A. mangium*, como aqueles em que houve ou só a aplicação de nitrogênio ou só a de fósforo, ambos na presença de calcário (tratamento 1001 e 0101), a massa seca foi inferior àquela obtida pela testemunha.

Não se verificou influência dos níveis de adubação sobre a produção de massa seca, a 5% de probabilidade, para a *Acacia mangium* (Tabela 2). Para o *Eucalyptus grandis* (Tabela 2), apenas o fósforo, quando analisado isoladamente, interfere na produção de massa seca e, conseqüentemente, na produção energética. A produção média de massa seca por árvore da parte comercial do *Eucalyptus grandis*, quando se considera a adubação sem fósforo e com fósforo, passa de 41,784 kg/árvore para 53,272 kg/árvore.

Tabela 2. Valores de "F" para a massa seca das espécies estudadas nos diferentes níveis de adubação.

Table 2. "F" values for dry mass in different levels of fertilization.

Fontes de variação	Graus de liberdade	Valores de "F"	
		<i>Acacia mangium</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>
Blocos	1	1,37ns	2,46ns
N	1	2,40ns	3,45ns
P	1	0,03ns	6,04*
K	1	1,70ns	3,41ns
Ca	1	0,70ns	0,90ns
NxP	1	0,03ns	0,01ns
NxK	1	2,41ns	0,15ns
NxCa	1	0,06ns	0,78ns
PxK	1	0,51ns	0,29ns
PxCa	1	1,02ns	3,81ns
KxCa	1	0,46ns	0,80ns
NxPxK	1	0,10ns	1,02ns
NxPxCa	1	0,48ns	0,62ns
NxKxCa	1	0,68ns	0,21ns
PxKxCa	1	0,01ns	0,94ns
NxPxKxCa	1	1,60ns	3,27ns

Obs.: \* - significativo a 5% de probabilidade.

### 3.3. Quantidade de energia na forma de calor

Como não houve diferença significativa entre os tratamentos para o poder calorífico superior e massa seca de *Acacia mangium*, também não foi detectada diferença na quantidade de energia na forma de calor disponibilizado pela madeira. Para o *Eucalyptus grandis*, houve diferença significativa entre os valores médios de quantidade de energia na forma de calor gerado pelo fuste somente quando se analisou a influência isolada do fósforo. A produção de energia pela madeira desta espécie, quando se considera a adubação sem fósforo e com fósforo, passa de 196.557,25 kcal/árvore para 274.513,37 kcal/árvore.

A produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* é da ordem de 222.085,31 kcal/árvore, equivalente a 2,4 vezes a de *Acacia mangium*, que foi de 91.285,62 kcal/árvore. Esta superioridade está relacionada, principalmente, à maior produção de massa seca verificada para a primeira espécie, uma vez que a diferença de poder calorífico é insignificante.

## 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- Não houve influência da adubação no poder calorífico superior das duas espécies.

- A massa seca média por árvore do fuste para *Eucalyptus grandis* foi maior que para *Acacia mangium*.

- Os níveis de adubação estudados não tiveram efeito na produção de massa seca e de calor gerado por árvore, considerando o fuste de *Acacia mangium*.

- A adubação fosfatada aumentou significativamente a produção de massa seca e de energia na forma de calor disponibilizado pelo fuste de *Eucalyptus grandis*.

- A produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* foi superior a de *Acacia mangium*.

- Em programa de plantio comercial com o objetivo de produção de biomassa para a geração de energia, o *Eucalyptus grandis* se mostra mais produtivo, tendo em vista sua maior produção de matéria seca.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F.; NOVAES, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de Eucalipto. In.: **Relação Solo-eucalipto**, Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 1996. 150p.
- BRITO, J.O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., PAN AMERICANO, 1., 1993, Curitiba, **Anais...** Curitiba: SBS, 1993. p.280-282.
- DANIEL, O.; VITORINO, A.C.T.; ALOVISI, A.A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A.M.; PINHEIRO, E.R.; SOUZA, E.F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, Viçosa, v.21, n.2, p.163-168, abr./jun. 1997.

- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts Tropicaux**, Nancy, France, n.172, p.33-48, Mars-Avril, 1977.
- DUBOIS, J.C.L. Manual agroflorestal para a Amazônia. **REBRAF**, v.1, Rio de Janeiro, 1996.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUESRÓZ. **Determinação do poder calorífico de madeira e de carvão vegetal – adaptação e simplificação da norma ABNT NBR 8633 de out/84.** [s.d.], [19\_\_], 14p. (não publicado).
- FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão.** Curitiba: FUPEF, 1981. 14p. (Série Técnica).
- HOWARD, A.M. Heat of combustion of various southern pine materials. **Wood Science**, v.5, p.194-197, 1973.
- JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: IPI, 1989. 6p. (Comunicação Técnica, 1797).
- LIM, M.T.; MOHD-BASRI, H. Biomass accumulation in a naturally lowland secondary forest and an *Acacia mangium* stand in Sarawak. **Pertanika**, Selangor, v.8, n.2, p.237-242, 1985.
- NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION. ***Acacia mangium* – a fast growing tree for the umid tropics.** NFT Highlight, 87-04, julho, 1987. Separata, 2p.
- VITAL, B.R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e utilização da madeira, p.323-330. In.: **Relação Solo-eucalipto**, Editores: Barros, N.F. e Novais, R.F. 1ª Ed. Viçosa Ed. Folha de Viçosa, 1990. p.323-330.