

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E CONTEÚDO ENERGÉTICO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM EUCALIPTO, NO MUNICÍPIO DE VAZANTE-MG¹

Biomass Yield and Energetic Content in Agroforestry Systems with Eucalypt in Vazante-MG

Marcelo Dias Müller², Antônio Arruda Tsukamoto Filho³, Rodrigo Silva do Vale⁴ e Laércio Couto⁵

Resumo: O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa e o conteúdo energético de um sistema agrissilvipastoril com eucalipto, culturas agrícolas (arroz e soja) e pastagem. Para efeito do conteúdo energético foram consideradas apenas as biomassas florestal, dos resíduos de casca de arroz e da produção de óleo vegetal de soja. Os dados foram obtidos a partir de um experimento instalado na fazenda Riacho, pertencente à Companhia Mineira de Metais, CMM-Agro, no município de Paracatu-MG. A biomassa florestal foi determinada por meio do modelo 3-PG, que utiliza dados do solo, do clima e do inventário florestal. Foram coletadas amostras de material vegetal das culturas agrícolas em parcelas distribuídas em diferentes distâncias da linha de plantio de eucalipto (1, 2,8 e 4,6 m), em pontos de amostragem casualizados. O material coletado foi pesado e colocado para secar em estufa, para posterior determinação de biomassa. Para o conteúdo energético foi considerado um poder calorífico de 4.700 k_{cal} kg⁻¹ da madeira, 3.200 k_{cal} kg⁻¹ da casca de arroz e 8.300 k_{cal} L⁻¹ de óleo de soja. Para o componente florestal, o sistema agrissilvipastoril mostrou-se mais eficiente no acúmulo de biomassa e energia do que no monocultivo. Para os cultivos agrícolas, arroz e soja, houve menor produção de biomassa no sistema agrissilvipastoril do que no monocultivo, tendo a diferença de produção se mostrado mais acentuada para a soja. Considerando um horizonte de 11 anos, o sistema agrissilvipastoril mostrou-se mais eficiente no acúmulo de biomassa e produção de energia.

Palavras-chave: produção de biomassa, dendroenergia e sistemas agroflorestais.

Abstract: The main objective of this work was to evaluate biomass yield and energy content of an agrossilvipastoral system with eucalypt, agricultural crops (rice and soybean) and pasture. For energetic content determination, forest biomass, rice bark waste and soybean oil were considered. The data were obtained from a research trial established in an area owned by the Companhia Mineira de Metais, CMM-Agro, in Paracatu-MG. Forest biomass was determined by applying the 3-PG model, using soil, climate and forest stand data. Agricultural crop samples were collected in the plots distributed at various distances from the eucalypt planting line (1, 2.8 and 4.6 m), in randomized sampling points. The collected material was weighed and oven-dried for biomass determination. A calorific power of around 4.700 k_{cal} kg⁻¹ for the wood, 3.200 k_{cal} kg⁻¹ to rice bark and 8.300 k_{cal} L⁻¹ was considered for wood, rice hull and soybean oil, respectively. The agrossilvipastoral system showed better biomass and energy yield values for the forest component than for the monocropping system. For the agricultural crops (rice and soybeans) the lower crop yield was observed in the agrossilvipastoral system than for monocropping, being more accentuated for soybean. Considering an 11-year projection, agrossilvipastoral system was considered more efficient than the monocropping system in biomass and energy production.

Keywords: biomass yield, dendroenergy, and agroforestry systems.

¹ Recebido para publicação em 3.4.2006 e aceito em 23.6.2006.

² Eng. Florestal, D.S., Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, Belo Horizonte-MG, <marcelo.muller@cemig.com.br>. ³ Prof. Titular do Departamento de Eng. Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, <antonio.tsukamoto@ufra.edu.br>. ⁴ Eng. Agr. D.S., Diretor Científico da Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura – SBAG, <rsvambiente@yahoo.com.br>. ⁵ Presidente da RENABIO, <presidencia@mabio.org.br>.

1 INTRODUÇÃO

A biomassa sempre foi considerada um combustível primitivo, em função de sua baixa densidade energética em relação aos combustíveis fósseis e da falta de tecnologias mais eficientes para a sua conversão em energia. Não obstante, nos países desenvolvidos o uso da biomassa tem pouca representação na matriz energética. Em contrapartida, nos países pobres e em desenvolvimento essa participação é bem mais expressiva.

Atualmente, essa visão está sendo gradativamente mudada em função do desenvolvimento de novas tecnologias, cada vez mais eficientes, para a conversão energética da biomassa. Esta mudança está sendo condicionada pela necessidade premente de se repensar o processo de desenvolvimento econômico de forma a não comprometer o atendimento à demanda das gerações futuras, bem como pela perspectiva de esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis.

A utilização da biomassa como insumo energético apresenta uma particularidade em relação às outras fontes: o resultado do processo de conversão pode gerar vários tipos de combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos). Outra característica importante da biomassa é a grande variedade de formas encontradas com potencial para aproveitamento energético^{1/}, o que é uma grande vantagem, na medida em que confere grande flexibilidade de adaptação tecnológica de acordo com a situação.

As principais fontes de recursos dendroenergéticos são as florestas nativas e plantadas (de onde são extraídos principalmente a madeira e os resíduos culturais); os plantios energéticos, como a cana-de-açúcar

(produção de álcool e resíduos culturais), girassol, soja, dendê e outras oleaginosas (produção de óleos vegetais – biodiesel); os resíduos provenientes do processamento industrial do agronegócio (resíduos de madeira, bagaço de cana, cascas de arroz, café etc.); e os resíduos urbanos (biogás).

Dentro desse contexto, a biomassa reveste-se de notável importância na construção de sistemas descentralizados de suprimento em pequena escala, uma vez que permite o aproveitamento de recursos naturais locais, bem como a compatibilização da potência gerada de acordo com uma demanda específica, aumentando a auto-suficiência dessas regiões e reduzindo o custo da energia.

Tendo em vista que a biomassa, em qualquer de suas formas, apresenta baixa densidade energética em relação aos combustíveis fósseis e, portanto, a sua utilização encontra limitações de ordem técnica e econômica, os sistemas de produção de biomassa energética são planejados e dimensionados com a finalidade de concentrar a maior produção por unidade de área possível.

Em contrapartida, considerando o caráter intensivo na utilização do solo, esses sistemas apresentam a desvantagem de proporcionar a exaustão dos solos por meio da exportação de nutrientes, o que denota a importância do dimensionamento de sistemas que proporcionem o uso sustentável do solo.

A principal forma de uso do solo para produção de biomassa é o monocultivo, seja de espécies florestais ou agrícolas. Esses sistemas, apesar de proporcionarem maior concentração energética por unidade de área, têm o inconveniente de causar maiores impactos ambientais, refletidos pela perda de biodiversidade e exaustão do solo.

Sendo assim, os sistemas agroflorestais se apresentam como uma alternativa bastante promissora para produção sustentada de biomassa, uma vez que combinam a

^{1/} Recursos Dendroenergéticos (HORTA; NOGUEIRA, 2000) – Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações.

utilização de espécies florestais, agrícolas e, ou, a criação de animais numa mesma área, de maneira simultânea e, ou, escalonada no tempo (VALE, 2004).

Segundo Macedo e Camargo (1994), os sistemas agroflorestais têm por objetivo otimizar a produção por unidade de superfície, respeitando sempre o princípio de rendimento contínuo, principalmente pela conservação/manutenção do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis.

Dentre suas vantagens podem ser citadas: melhor ocupação do sítio ecológico, aumento da matéria orgânica no solo, melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, retenção e conservação de água no solo, controle da erosão, aumento da produtividade por unidade de superfície, redução das variáveis microclimáticas, diminuição dos riscos de perdas de produção, tutor ou suporte para plantas trepadeiras, uso adequado do sombreamento e agregação de valor (VALE, 2004).

Por sua dimensão estratégica e pela participação histórica na matriz energética, a biomassa reveste-se de notável importância na busca de uma alternativa aos combustíveis de origem fóssil para produção de energia.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa e o conteúdo energético em um sistema agroflorestal com eucalipto e soja na região do cerrado, no noroeste do Estado de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização

Este trabalho foi realizado na fazenda Riacho, pertencente à Companhia Mineira de Metais (CMM), no município de Paracatu, localizado a noroeste de Minas Gerais. Esse município encontra-se na região bioclimática 6 do Estado, segundo Golfari (1975), entre as coordenadas 17°13'00" S e 46°52'00" O.

O clima da região é do tipo Aw - tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média máxima anual é de 29 °C e a mínima, de 17 °C. A precipitação média anual é de 1.438 mm, concentrando-se no semestre mais quente, sendo no mês mais seco inferior a 60 mm. O período seco ocorre de abril a outubro. A evapotranspiração potencial anual atinge entre 1.000 e 1.200 mm. A altitude média é de 550 m e o relevo varia de plano a suave-ondulado.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (16,25% de areia, 21,50% de silte e 62,25% de argila), fase cerrado, de baixa fertilidade e alta acidez.

A vegetação é constituída por cerrados em suas várias tipologias, desde campos a cerradões e florestas ciliares subperenifólias, principalmente nas proximidades dos rios, desenvolvida sobre solos derivados de basalto (GOLFARI, 1975).

2.2 Caracterização do sistema agrissilvipastoril utilizado pela CMM

Esse é um tipo de sistema agroflorestal que consiste no plantio integrado de clones de híbridos naturais de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) com arroz (*Oriza sativa* L. cultivar Guarany), soja (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Conquista) e braquiária (*Braquiária brizantha* Stapf.), em uma escala temporal adequada, visando a produção de madeira para energia e serraria, produtos agrícolas e carne bovina.

A CMM começou a utilizar essa tecnologia em 1993, com o plantio de clones de híbridos de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *E. camaldulensis* Dehnh. x *E. urophylla* S.T. Blake e *E. camaldulensis* Dehnh. x *E. tereticornis* Sm.) bem adaptados às condições edafoclimáticas locais, produtivos e apresentando madeira de qualidade superior para fins de multiprodutos.

Os clones foram plantados no espaçamento 10 x 4 m, para possibilitar o cultivo agrícola nas entrelinhas nos primeiros anos (ano 1 e 2) e o pastejo animal a partir do terceiro ano. O espaçamento de plantio do arroz e da soja foi de 0,45 m entre as linhas, utilizando 80 e 24 sementes por metro linear, respectivamente.

Para evitar competição, respeitou-se um espaçamento mínimo de 1 m entre as linhas de plantio de eucalipto e as linhas de arroz e soja e a área de semeadura da gramínea.

2.3 Determinação da Biomassa

3.2.1 Madeira

Para determinação da biomassa florestal do eucalipto utilizou-se o modelo 3-PG, com o auxílio do Programa Normais 2.0, que fornece dados climáticos. Para executar o 3-PG é necessário utilizar uma série de informações relacionadas, principalmente, ao clima (precipitação, temperatura, evaporação^{2/} e radiação solar^{3/}), ao solo (fertilidade, textura, capacidade de campo – CC e ponto de murcha permanente – PM) e ao povoamento florestal (idade do povoamento, densidade de plantio, espaçamento e densidade da madeira)^{4/}. Os dados de inventário florestal^{5/} para a análise foram cedidos pela empresa CMM.

^{2/} Os dados de precipitação, temperatura e evaporação foram fornecidos pelo Programa Normais 2.0 para o município de Paracatu – Minas Gerais, considerando os valores médios dos últimos 30 anos.

^{3/} A radiação solar foi calculada por um software denominado “Programa Radiação”, que utiliza como *inputs*, para gerar os dados, informações de latitude e albedo.

^{4/} O sistema foi implantado em 1999, com as árvores plantadas no espaçamento 10 x 4 m (250 árvores ha⁻¹). Densidade da madeira = 445,05 kg m⁻³.

^{5/} Esses dados foram utilizados para calcular a biomassa inicial dos diferentes componentes da árvore e para comparar os valores observados com os estimados, no caso valores de volume de madeira.

O modelo 3-PG fornece estimativas da biomassa de litter (de origem exclusiva de folhas) e de diferentes partes da árvore, incluindo raiz. Na estimativa dos dados de biomassa também foram utilizados, de forma complementar, equações e dados obtidos por Bernardo (1995), Ladeira (1999), Marquez (1997) e Neves (2000).

Na conversão da biomassa seca para C adotou-se o fator 0,49, conforme resultado de pesquisa realizada pela CMM para a madeira de eucalipto. De modo geral, o teor médio de C na madeira é de 50%, porcentual aceito mundialmente após constatação desse valor em vários trabalhos, como de Dewar e Cannell (1992) e Nutto et al. (2002). Para outros componentes da árvore adotaram-se os fatores 0,525, 0,503, 0,507 e 0,510, respectivamente, para folha, casca + galho, raiz e litter, tomando-se por referência Neves (2000).

O modelo 3-PG calcula o volume de madeira a partir da sua biomassa^{6/} e densidade. Essa fração de casca e galho é determinada conjuntamente e separada do volume pela fórmula

$$V = (1 - p_{BB})W_s / p$$

em que V = volume de madeira (m³ ha⁻¹), p_{BB} = fração de casca e galho (t ha⁻¹), W_s = biomassa de madeira (t ha⁻¹) e p = densidade da madeira (t m⁻³). Por isto, a biomassa de casca e galho foi especificada na análise como casca + galho.

2.3.2 Biomassa de culturas intercalares (soja e arroz)

Foram coletadas amostras de material vegetal de arroz e soja, para determinação de matéria seca. Foi utilizada uma parcela

^{6/} Para a estimativa de volume e biomassa de eucalipto no sistema agrissilvipastoril, adotou-se o ciclo de corte de 11 anos.

de 0,5 x 1 m. A amostragem foi feita em três pontos casualizados, tendo sido coletadas cinco amostras em cada ponto, distribuídas em diferentes distâncias da linha de plantio de eucalipto (1, 2,8 e 4,6 m). No ponto de amostragem, traçou-se, com uma trena, uma linha transversal à linha de eucalipto. De um lado da linha de eucalipto foram coletadas três amostras e do outro duas, obedecendo às distâncias estabelecidas. No lado com duas amostras as distâncias consideradas foram 1 e 2,8 m. O material coletado nas parcelas foi pesado em balança de precisão, para determinação da massa verde, e colocado para secar em estufa a 65 °C, até peso constante. No caso específico da soja, separaram-se as vagens e os grãos do material coletado antes da pesagem.

2.4 Conteúdo energético

O conteúdo energético do componente florestal do sistema foi avaliado com base no poder calorífico da madeira *versus* a quantidade de biomassa por unidade de área.

Pereira et al. (2000), estudando várias espécies de eucalipto, observaram valores que variaram de 5.080 k_{cal} kg⁻¹ (para *E. camaldulensis*) a 4.340 k_{cal} kg⁻¹ (para *E. grandis*). Brito (1993) relatou que o poder calorífico da madeira de folhosas pode variar de 3.500 k_{cal} kg⁻¹ a 5.000 k_{cal} kg⁻¹. Portanto, para este estudo, foi considerado um valor médio de poder calorífico de 4.700 k_{cal} kg⁻¹.

Dessa forma, o conteúdo energético do componente florestal foi calculado como sendo o produto do poder calorífico superior da madeira pela quantidade de biomassa por hectare.

Os resultados foram comparados com o conteúdo energético de uma floresta de eucalipto estabelecida em sistema de monocultivo, no espaçamento 3,0 x 2,0 m.

Para a soja, foram considerados o valor médio de 20% de óleo nos grãos e o poder

calorífico de 8.300 k_{cal} L⁻¹, bem como sua produtividade por hectare no sistema consorciado.

A casca de arroz representa, em média, 23% da quantidade de arroz produzido e apresenta poder calorífico de 3.200 k_{cal} kg⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biomassa e conteúdo energético – componente florestal

Na Figura 1 é apresentada a curva de crescimento em volume de madeira do eucalipto no sistema agrissilvipastoril. Na idade de 6 anos (idade técnica de corte), o valor de biomassa total na madeira foi de 65,47%. Aos 7 anos (rotação econômica), os valores foram de 67,07%. Em ambas as idades, a maior quantidade relativa de biomassa estava presente na madeira, depois no litter, seguido pela raiz, pela casca + galho e pela folha. Essa mesma seqüência foi encontrada por Marquez (1997), para *Eucalyptus camaldulensis* com 7 anos de idade. Aos 6 e 7 anos, considerando o espaçamento 10 x 4 m do sistema agrissilvipastoril e as condições edafoclimáticas do cerrado, esperava-se maior quantidade de biomassa na raiz e folha, o que no entanto não ocorreu, devido às particularidades do sistema agrissilvipastoril, principalmente no que se refere ao efeito residual das adubações realizadas nas culturas agrícolas e pastagem, que indiretamente beneficiou o eucalipto. Com a disponibilidade de nutrientes no solo⁷, a planta passou a alocar maior quantidade de biomassa no fuste.

As estimativas de produção em biomassa fornecidas pelo modelo 3-PG estão na Quadro 1.

⁷ As condições de fertilidade do solo foram verificadas pelos resultados da análise química e expressas no 3-PG de forma subjetiva, numa escala de 0 a 1, devendo-se ressaltar que quanto melhor o solo mais próximo de 1 é o valor.

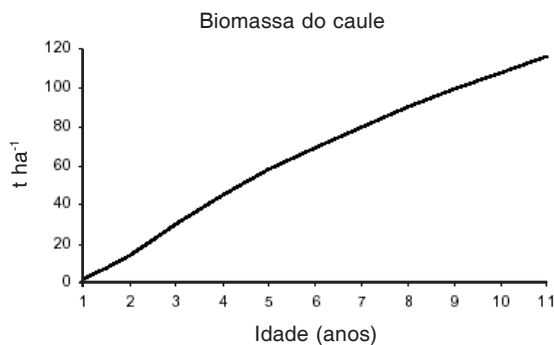


Figura 1 - Biomassa de madeira de eucalipto no sistema agrissilvipastoril.

Figure 1 - Wood eucalypt biomass under the agrissilvipastoral system.

Quadro 1 - Produção de biomassa, em $t\ ha^{-1}$, e conteúdo energético nos diferentes componentes do eucalipto no sistema agrissilvipastoril

Table 1 - Biomass yield ($t\ ha^{-1}$) and energetic content in different eucalypt components under an agrissilvipastoral system

Ano	Produção em Biomassa ($t\ ha^{-1}$)		Conteúdo Energético ($10^3\ kcal\ ha^{-1}$)	
	Fuste	Casca + Galho	PCS Fuste	PCS Casca + Galhos
1	2,00	0	9.400	0
2	14,50	3,90	68.150	18.330
3	30,23	5,12	142.081	24.064
4	45,14	5,95	212.158	27.965
5	58,24	6,80	273.728	31.960
6	69,70	7,70	327.590	36.190
7	80,14	8,66	376.658	40.702
8	89,98	9,63	422.906	45.261
9	99,25	10,57	466.475	49.679
10	107,97	11,48	507.459	53.956
11	116,13	12,34	545.811	57.998

Na Figura 2, pode-se observar que o componente que mais contribui para a produção de energia é o fuste. A casca e a galhada apresentam baixo crescimento energético com a idade, o que se deve ao fato de que com a idade a planta passa a alocar maior quantidade de biomassa na madeira, ou seja, a porcentagem de casca e galhos diminui com a idade.

No sistema de monocultivo (espaçamento $3,0 \times 2,0\ m$), a produção de biomassa e, conseqüentemente, o conteúdo energético foram menores do que no sistema agrissilvipastoril, como pode ser observado no Quadro 2.

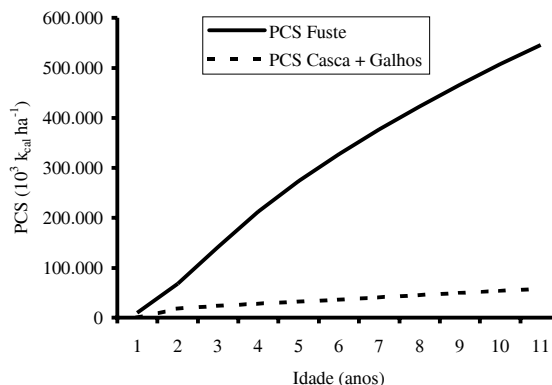


Figura 2 - Conteúdo energético de fuste, galhos e casca de eucalipto no sistema agrissilvipastoril em diferentes idades.

Figure 2 - Wood, branch and bark energetic content under an agrissilvipastoral system at different ages.

Quadro 2 - Produção de biomassa, em $t\ ha^{-1}$, e conteúdo energético (em $kcal\ ha^{-1}$) nos diferentes componentes do eucalipto no sistema de monocultivo (espaçamento $3,0 \times 2,0\ m$)

Table 2 - Biomass yield ($t\ ha^{-1}$) and energetic content ($Kcal\ ha^{-1}$) in different eucalypt components of a monocropping system

Ano	Produção em Biomassa ($t\ ha^{-1}$)		Conteúdo Energético ($10^3\ kcal\ ha^{-1}$)	
	Fuste	Casca + Galho	PCS Fuste	PCS Casca + Galhos
1	1,10	0	5.1700	0
2	10,36	2,78	48.6920	13.066
3	23,09	3,90	108.523	18.330
4	35,37	4,66	166.239	21.902
5	46,71	5,45	219.537	25.615
6	57,12	6,32	268.464	29.704
7	66,87	7,22	314.289	33.934
8	76,07	8,14	357.529	38.258
9	84,93	9,05	399.171	42.535
10	93,55	9,95	439.685	46.765
11	102,00	10,84	479.400	50.948

A produção de biomassa e energia se mostrou maior no sistema agrissilvipastoril, quando comparada com a do monocultivo. No sistema agrissilvipastoril foram observados valores de $116,13 \text{ t ha}^{-1}$ e $545.811 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ ha}^{-1}$, contra $102,0 \text{ t ha}^{-1}$ e $479.400 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ ha}^{-1}$, para o fuste no sistema de monocultivo aos 11 anos de idade. O mesmo comportamento foi apresentado pelo componente galhos + casca.

3.2 Biomassa e conteúdo energético – componente agrícola

A produção em matéria seca da soja no sistema agrissilvipastoril no segundo ano foi de $2,4 \text{ t ha}^{-1}$, bem abaixo do observado para o sistema em monocultivo ($4,86 \text{ t ha}^{-1}$). A produção em grãos foi de aproximadamente $1,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Da mesma forma, Dubé (1999) constatou valores de 25 sacas (60 kg) de soja por hectare, o que corresponde a $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos. Macedo et al. (2004) obtiveram valores mais modestos, em torno 860 kg ha^{-1} .

Considerando a produção de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, têm-se 300 kg de óleo, com um conteúdo energético de $2.490 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ ha}^{-1}$. O cultivo tradicional (em torno de 3 t ha^{-1}) apresenta um conteúdo energético três vezes maior, $7.470 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ ha}^{-1}$. Entretanto, para comparação com o sistema agrissilvipastoril, esses valores devem ser extrapolados para um horizonte de 11 anos. Sendo assim, no monocultivo tem-se uma produção de 33 t de grãos e $82.170 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}}$.

A produção de matéria seca de arroz foi de $4,84 \text{ t ha}^{-1}$. Considerando que a casca representa cerca de 23% da biomassa de arroz e possui um poder calorífico de $3.200 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ kg}^{-1}$, são produzidos $1,11 \text{ t ha}^{-1}$ de casca e $3.552 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}} \text{ ha}^{-1}$.

Para o monocultivo, a produção de arroz em matéria seca foi de $5,69 \text{ t ha}^{-1}$, $0,85 \text{ t ha}^{-1}$ a mais que no sistema consorciado. A produção de casca representa $1,3 \text{ t ha}^{-1}$. Para um

horizonte de 11 anos, tem-se uma produção de $14,3 \text{ t}$ e $45.760 \cdot 10^3 \text{ k}_{\text{cal}}$.

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- 1) o sistema agrissilvipastoril proporcionou maior acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, maior conteúdo energético para o componente florestal aos 11 anos de idade, quando comparado ao do sistema de monocultivo;
- 2) para a soja foram observados valores de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ em grãos e um conteúdo energético do óleo aproximadamente três vezes menor que o do monocultivo;
- 3) para o arroz a diferença em produção de biomassa entre o sistema agrissilvipastoril e o monocultivo foi menos acentuada do que para a soja; e
- 4) o sistema agrissilvipastoril mostrou-se mais eficiente no acúmulo de biomassa e na concentração de energia por unidade de área que os sistemas de monocultivo isoladamente.

REFERÊNCIAS

- BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos na região de Cerrado de Minas Gerais.** 1995. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., PAN AMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p. 280-282.
- DEWAR, R. C.; CANNELL, M. G. R. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations: an analysis using UK examples. **Tree Physiology**, v. 11, n. 1, p. 49-71, 1992.

- DUBÉ, F. **Estudos técnicos e econômicos de sistemas agroflorestais com *Eucalyptus* sp. no noroeste do Estado de Minas Gerais: o caso da Companhia Mineira de Metais.** 1999. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento.** Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF, CPFRC, 1975. 65 p. (Série Técnica, 3).
- LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades.** 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- MACEDO, R. L. G.; CAMARGO, I. P. Sistemas agroflorestais no contexto do desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., Porto Velho, 1994. **Anais...** Porto Velho: EMBRAPA, 1994. p. 430-439.
- MARQUEZ, C. E. C. **Estudo silvicultural e econômico de povoamentos de eucalipto na região de Cerrado de Minas Gerais.** 1997. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo.** 2000. 191 f. Tese (Doutorado pelo Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000.
- NUTTO, L. et al. O mercado internacional de CO₂: o impacto das florestas naturais e das plantações. In: SANQUETTA, C. R. et al. **As florestas e o carbono.** Curitiba: 2002. p. 89-108.
- PEREIRA, J. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p (Embrapa Florestas Documentos, 38).
- VALE, R. S. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais.** 2004. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.