



Potencial energético de coprodutos gerados a partir da produção de biodiesel de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)

Energy potential of co-products generated from Jatropha biodiesel production

Silmara Bispo dos Santos¹, Marcio Aredes Martins², Angélica de Cássia de Oliveira Carneiro³

Resumo: Objetivou-se com presente trabalho avaliar o potencial de aproveitamento energético de coprodutos da cadeia de produção de biodiesel de pinhão manso. Para isso, o poder calorífico superior (PCS) e a análise imediata (teor de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo) foram determinados para amostras de epicarpo (casca), torta proveniente do processo de extração por prensagem e farelo proveniente do processo de extração com solvente. Os coprodutos da cadeia de produção de biodiesel de pinhão manso na forma de cascas, torta e farelo apresentam características energéticas que torna possível o seu aproveitamento para a produção de energia para uso em diferentes processos. O teor de óleo tem efeito sobre o poder calorífico dos coprodutos de pinhão manso. Quanto maior o teor de óleo residual na torta ou farelo, maior o potencial energético. As cascas, a torta e o farelo apresentaram poder calorífico semelhante à madeira de eucalipto e ao bagaço-de-cana. Este último, muito utilizado em sistemas de cogeração na indústria sucroalcooleira e podem ser utilizados diretamente ou compactados, na geração de calor para processos tanto na indústria processadora como no campo. A torta (obtida por prensagem mecânica) foi o coproduto que apresentou melhores condições para queima direta quando comparada aos demais materiais avaliados.

Palavras-chave: Poder calorífico; Biorrefinaria; Aproveitamento energético; Biomassa.

Abstract: This study aimed to evaluate the energetic use potential of co-products from chain of *Jatropha* biodiesel production. For this, the higher heating value and immediate analysis (volatile matter, ash and fixed carbon content) were determined for epicarp samples (shell), cake from the press extraction process, and the bran from the solvent extraction process. Co-products of the biodiesel production chain from *Jatropha* under shells, cake, and bran form have energetic characteristics that make possible its use for energy production for used in different processes. The oil content has an effect on the calorific value of *Jatropha* co-products. The higher the residual oil content in the pie or bran, the greater the energy potential. The peas, the pie and the bran presented calorific power similar to eucalyptus wood and sugarcane bagasse. The last one is widely used in cogeneration systems in the sugar-alcohol industry and can be used directly or compacted in the generation of heat for processes both in the processing industry and in the field. The pie (obtained by mechanical pressing) was the co-product that presented better conditions for direct burning when compared to the other evaluated materials.

Key words: Higher heating value; Biorefinary; Energy use; Biomass.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 03/11/2016; aprovado em 04/08/2017

¹Professora Adjunta da Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas/Engenharia Mecânica, Avenida dos Estudantes, 5005 - Vila Aurora I, Cep 78735-901, Rondonópolis - MT, Brasil, Fone: +55 (66) 3410 4000, E-mail: syllmara@yahoo.com.br.

²Professor Associado da Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. PH Rolfs, s/n, Centro, Cep 36570-000 - Viçosa, MG - Brasil, Email: aredes@ufv.br.

³Professora Associada da Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Purdue, s/nº, Campus Universitário, Edif. Reinaldo de Jesus Araújo, Cep 36.570-900, Viçosa - MG - Brasil, Email: cassiacarneiro1@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A busca pelo uso de formas alternativas de energia vem ganhando destaque nas últimas décadas e tem sido motivada não apenas por fatores econômicos, mas também por fatores ambientais e sociais.

Nesse contexto, o biodiesel surgiu como uma alternativa bastante atrativa que vem se destacando por ser um combustível biodegradável, proveniente de fonte renovável e capaz de substituir o óleo diesel em motores de combustão interna com resultados satisfatórios. O biodiesel é usualmente obtido por meio da transesterificação, que é uma reação orgânica na qual um éster é transformado em outro através da troca dos grupos alcoóxidos, dos triglicerídeos de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal com um monoálcool de cadeia curta (metanol ou etanol), na presença de um catalisador (RINALDI et al., 2007).

A cadeia produtiva do biodiesel é bastante complexa, envolvendo diversos setores da economia, tais como o setor agrícola, o setor industrial de óleos vegetais e de biodiesel, setor de distribuição e transporte, revenda e mercado consumidor. De acordo com Benedetti et al. (2006), a exemplo do que ocorreu com o programa de produção de etanol, existe a possibilidade de uma redução dos custos de produção de biodiesel pelo aproveitamento dos coprodutos e otimização das cadeias de fornecimento de insumos.

O biodiesel no Brasil tem sido produzido principalmente a partir da transesterificação de óleo de soja, no entanto, a diversificação da matéria-prima, com o uso de oleaginosas como a mamona, canola, girassol e pinhão manso deve ocorrer em um futuro próximo com aumento substancial do volume de coprodutos gerados ao longo da cadeia de produção.

O pinhão manso é um arbusto pertencente à família das Euphorbiaceae nativo da América tropical, que se adaptou também em regiões subtropicais da África, Ásia e América do Sul (GÜBITZ et al., 1999). A planta produz sementes com elevado conteúdo de óleo e com grande potencial para a produção de biodiesel (ACHTEN, 2008).

Na extração do óleo para a produção de biodiesel é gerada grande quantidade de coprodutos. De acordo com Chandra et al. (2006), a torta resultante do processo de extração de óleo de pinhão manso representa aproximadamente 70 % da massa total de grãos prensados. Quando a extração é realizada com solvente, a quantidade de farelo proveniente pode ser ainda maior devido a maior seletividade do processo que não produz borras.

Para a caracterização e utilização desses coprodutos para fins energéticos, deve-se avaliar seu poder calorífico e realizar uma análise química (imediate) para determinação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo presentes e, com isso, determinar a melhor forma de seu aproveitamento. Estes parâmetros estão relacionados diretamente com a utilização do combustível e são importantes para o cálculo do projeto da fornalha e das quantidades necessárias de ar primário e secundário em função da porcentagem de voláteis presentes no combustível.

As tortas e farelos provenientes de oleaginosas como a soja, a canola e o girassol têm sido utilizadas na alimentação animal devido ao elevado conteúdo proteico apresentado (ABDALLA et al., 2008). A torta e farelo de oleaginosas como mamona e pinhão manso também apresentam elevado teor proteico (COSTA et al., 2004; MAKKAR et al., 2008).

No entanto, estes coprodutos contêm em sua composição substâncias tóxicas e antinutricionais ao organismo humano e animal, necessitando de tratamentos específicos para a desativação destes compostos antes de seu consumo, o que resulta em custo agregado para tornar possível o seu aproveitamento (MAKKAR et al., 2008; LI et al., 2010; MAKKAR et al., 2011;).

Estudos têm mostrado que a torta de pinhão manso pode ser útil também como fertilizante e para a produção de biogás (GÜBITZ et al., 1999; ALI et al., 2010, CHANDRA et al., 2011).

Na produção de grãos de pinhão manso, o epicarpo (casca) constitui o principal coproduto gerado. As cascas dos frutos de pinhão manso geralmente são removidas ainda na lavoura pelo produtor. Devido à sua baixa densidade, o transporte deste coproduto para outras localidades, para posterior processamento e utilização, acaba não sendo interessante.

A utilização dos coprodutos da cadeia de produção de biodiesel de pinhão manso na geração de calor para processos como: secagem de grãos, extração de óleo (por solventes) e refino, transesterificação, esterificação e purificação do biodiesel, secagem e recuperação de etanol, entre outros, pode vir a ser uma alternativa para a minimização dos custos de produção.

Diante do exposto, o objetivo com o presente estudo foi avaliar o potencial energético dos coprodutos (cascas, tortas e farelo) da cadeia de produção de biodiesel de pinhão manso discutindo as possíveis alternativas para seu aproveitamento na geração de calor.

MATERIAL E MÉTODOS

O potencial energético da casca, da torta e farelo (Figura 1), com diferentes teores de óleo residual foram avaliados a partir do poder calorífico superior e análise química imediata destes materiais.

Figura 1. Coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel de pinhão manso (casca (A), torta (B) e farelo (C)), avaliados no experimento.



Fonte: Autoria própria

As amostras de torta foram obtidas a partir do processo de extração de óleo por prensagem mecânica de grãos de pinhão manso, utilizando uma prensa tipo Expeller com capacidade de 40 kg/h. Para a obtenção de amostras de torta com diferentes conteúdos de óleo residual, o processo de extração foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu em submeter grãos inteiros ao processo de prensagem e a segunda consistiu em submeter a torta proveniente da primeira etapa a uma segunda passagem pela prensa. Foram utilizados 20 kg de grãos, sendo que, do total de torta resultante em cada etapa, foram retiradas amostras para a determinação do teor de óleo e poder calorífico superior.

O teor de óleo das amostras foi determinado por meio de extração em equipamento soxhlet, utilizando n-hexano como

solvente durante oito horas em duas repetições, seguindo-se a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985).

O farelo foi obtido a partir de grãos triturados e submetidos ao processo de extração em equipamento soxhlet, utilizando n-hexano como solvente durante oito horas. O farelo resultante foi levado à estufa com circulação forçada de ar a 90 °C para a evaporação do solvente e separado em quatro partes, as quais foram adicionadas quantidades de óleo de pinhão manso que correspondesse aos teores de óleo residual de 0, 10, 20 e 30% b.s.. Para determinar o poder calorífico dos grãos de pinhão manso, amostras de grãos triturados foram utilizadas.

As amostras de cascas, tortas, farelos e de grãos de pinhão manso foram trituradas e separadas em peneiras metálicas para análise granulométrica de 60 e 40 mesh, recolhendo-se a fração retida na peneira de 60 mesh. As amostras foram acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar até ficarem absolutamente secas.

A determinação do poder calorífico superior foi realizada em duas repetições cada tratamento, com o uso de uma bomba calorimétrica adiabática, de acordo com a metodologia descrita pela norma ABNT BR 8633/1984 (ABNT, 1984).

A análise química imediata das amostras foi utilizada para determinação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, presentes nas amostras de epicarpo, torta (8,05 % de óleo) e farelo (0% de óleo), e foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 em duas repetições cada tratamento.

Para avaliar se existe diferença no poder calorífico dos diferentes coprodutos de pinhão manso, foi realizado um delineamento experimental inteiramente casualizado com oito tratamentos (Tratamento 1 = Casca de pinhão manso; Tratamento 2 = Torta obtida após uma passagem pela prensa; Tratamento 3 = Torta obtida após duas passagens pela prensa; Tratamento 4 = Farelo após extração total do óleo; Tratamento 5 = Farelo com 10% de massa de óleo; Tratamento 6 = Farelo com 20% de massa de óleo; Tratamento 7 = Farelo com 30% de massa de óleo e Tratamento 8 = semente de pinhão manso).

A análise química imediata foi avaliada apenas nos tratamentos 1, 3 e 4.

Tanto para o poder calorífico superior como para a análise química imediata, foram realizadas análises de variância ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o software SISVAR versão 5.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O poder calorífico determina a quantidade de energia térmica que pode ser liberada por unidade de massa de um combustível durante a combustão. Existem duas formas de se considerar o poder calorífico: poder calorífico inferior (PCI) e o poder calorífico superior (PCS). O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água formada na reação de combustão (JARA, 1989). O PCS é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e a água formada durante a combustão é condensada; sendo

assim, é a medida de energia total do combustível incluindo a energia necessária para a evaporação da água formada no processo (BRIANE; DOAT, 1985).

As médias de poder calorífico superior das amostras avaliadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de poder calorífico superior (PCS) das cascas, tortas, farelos e grãos de pinhão manso.

Material	PCS (kJ/kg)
Cascas	16230,60 h
Torta de prensagem	
uma passagem (13,87 ± 0,23% de óleo)	20849,38 d
duas passagens (8,05 ± 0,27% de óleo)	19571,42 e
Farelo	
0 % de óleo	17460,69 g
10 % de óleo	19326,27 f
20 % de óleo	22490,57 c
30 % de óleo	24686,41 b
Semente (35,08 ± 0,14% de óleo)	26434,74 a

Na coluna da direita, médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados da análise de variância, houve diferença significativa entre as médias de poder calorífico dos coprodutos dos diferentes tratamentos. O epicarpo apresentou o menor poder calorífico superior quando comparado aos demais materiais, seguido do PCS do farelo com 0 % de óleo. Observa-se que, de modo geral, quanto maior o teor de óleo nas amostras, maior foi o poder calorífico superior.

O PCS do farelo de pinhão manso contendo 0% de óleo foi de 17460,69 kJ/kg. Para as cascas, o PCS foi de 16230,60 kJ/kg próximo aos valores reportados para outros resíduos agrícolas como a casca de arroz (16335 kJ/kg) (DINIZ et al., 2004), resíduos de mamona (16029,9 kJ/kg) (RANGEL et al., 2004), e casca de café (16439,9 kJ/kg) (VALE et al., 2007).

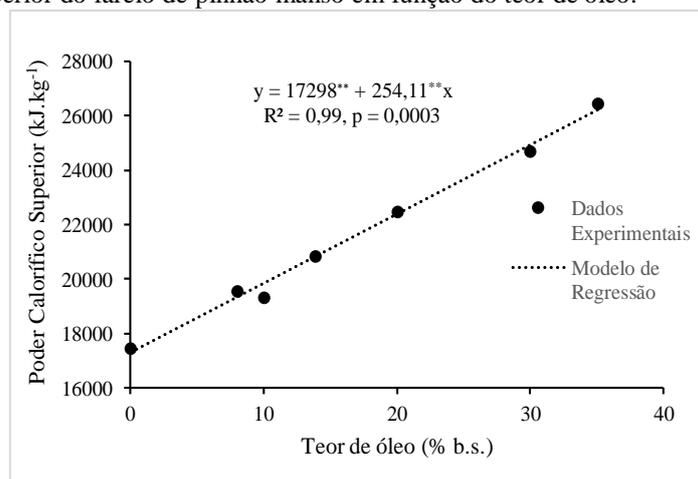
O poder calorífico superior da torta de pinhão manso foi de 20849,38 e 19571,42 kJ/kg para teores de óleo residual de 13,87 e 8,05%, respectivamente. Estes valores e os valores obtidos para o farelo foram considerados elevados, uma vez que estão próximos ao poder calorífico de outros produtos comumente aplicados como combustíveis sólidos.

Para efeito de comparação, o poder calorífico em base seca do bagaço de cana-de-açúcar é de 18070,6 kJ/kg (HASSUANI et al., 2005) e de espécies de eucalipto varia de 17627 a 20996 kJ/kg (JARA, 1989).

A relação entre o poder calorífico e o teor de óleo residual no farelo foi avaliada por meio de análise de regressão realizada, utilizando-se o software Microsoft Excel® (Figura 2).

De acordo com a Figura 2, observa-se que existe uma relação linear entre o poder calorífico superior e o conteúdo de óleo residual, sendo todos os parâmetros do modelo de regressão altamente significativos ($p < 0,001$).

Os resultados obtidos na análise química imediata e poder calorífico superior para a casca, farelo (0% de óleo) e torta (8,05% de óleo) de pinhão manso estão apresentados na Tabela 2.

Figura 2. Poder calorífico superior do farelo de pinhão manso em função do teor de óleo.**Tabela 2.** Análise química imediata e PCS da casca, farelo (0% de óleo) e torta (8,05% de óleo) de pinhão manso.

Parâmetro avaliado	Material		
	Casca	Farelo (0 % de óleo)	Torta (8,05 % de óleo)
Materiais Voláteis (% b.s.)	73,74 a	61,90 b	76,89 a
Teor de Cinzas (% b.s.)	13,52 b	21,08 a	7,88 c
Carbono Fixo (% b.s.)	12,73 a	17,00 a	15,23 a
PCS (kJ/kg)	16230,60 c	17460,69 b	19571,42 a

Nas linhas, médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados, a casca e a torta de pinhão manso contendo 8,05% de óleo apresentaram maiores percentuais de materiais voláteis quando comparados ao farelo que geralmente é isento de óleo. Possivelmente, a presença do óleo seja responsável pelo aumento no teor de voláteis. Dos materiais submetidos à análise química imediata, a torta com 8,05% de óleo foi a que apresentou menor teor de cinzas.

Com relação ao carbono fixo, não foi encontrada diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os materiais avaliados.

Os valores encontrados para materiais voláteis, cinzas e carbono fixo para a casca e torta de pinhão manso estão de acordo com dados obtidos por Vale et al. (2011). Estes autores relataram valores de 72,6% de materiais voláteis, 14,43% de cinzas e 13,0% de carbono fixo para a casca e 77,4% de materiais voláteis, 7,95% de cinzas e 14,21% de carbono fixo para a torta de pinhão manso e também não encontraram diferença entre as médias de teor de carbono fixo da casca e da torta.

A casca, o farelo e a torta de pinhão manso apresentaram valores elevados de materiais voláteis e de cinzas e baixos valores de carbono fixo, quando comparados aos valores reportados para outros combustíveis como clones de eucalipto e carvão vegetal (TRUGILHO et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2006). No entanto, valores semelhantes foram observados por Vale et al. (2007), em amostras de cascas de café (75,73% de materiais voláteis, 13,96% de cinzas e 10,31% de carbono fixo) e por Morais et al. (2006) para a casca de arroz in natura. Estes últimos autores verificaram que a briquetagem (compactação) das cascas de arroz promoveu uma redução do teor de materiais voláteis de 64,26 para 10,13% e um aumento do teor de carbono fixo de 11,90 para 47,50% indicando uma melhora das suas propriedades para combustão.

Segundo Nogueira e Lora (2003) as cinzas são resultantes da fração mineral do combustível. As cinzas se acumulam nos cinzeiros dos equipamentos térmicos, exigindo sua remoção, ou são carregadas pelos gases de exaustão, incrustando-se no interior da chaminé ou poluindo o ambiente (RUSSOMANO, 1987). Conforme Obernberger e Thek (2004), o teor de cinzas influencia na emissão de poluentes, sendo assim, elevados teores de cinzas no combustível são indesejáveis.

Por outro lado, a possibilidade de utilização das cinzas como material pozolânico na construção civil ou como agente melhorador de atributos químicos do solo e como fonte de nutrientes para diferentes culturas deve ser considerada e avaliada (CORDEIRO et al., 2007).

Gonçalves e Moro (1995), verificaram que a aplicação de cinza de biomassa florestal contribuiu para uma melhoria dos atributos químicos do solo e como fonte de nutrientes para *Eucalyptus grandis*, fornecendo principalmente P, K, Ca e Mg. O uso de cinzas influenciou significativamente também na concentração e no conteúdo de macro nutrientes nos diversos componentes das árvores, sendo a absorção de K e Ca muito maior do que as observadas na testemunha e no tratamento que recebeu adubo. Zhang et al. (2002) avaliaram o potencial de cinzas de diferentes resíduos urbanos para uso sustentável na agricultura. Observaram que as cinzas de resíduos urbanos podem ser utilizadas para a calagem de solos ácidos e trazer benefícios agrônômicos para as culturas. No entanto, sua aplicação deve ser controlada, uma vez que apresentam elevados teores de metais pesados, podendo resultar em toxidez para as plantas. Serafimova et al. (2011), verificaram que a composição química de cinzas de resíduos de madeira corresponde às necessidades nutricionais e químicas de diferentes espécies de plantas e tipos de solo, sendo que o conteúdo de elementos tóxicos nas cinzas esteve em conformidade com os padrões exigidos para a proteção de

solos agrícolas. Estes autores reportaram que devido à fina distribuição natural das partículas e à presença de nanopartículas, a capacidade de sorção e a possibilidade de utilização destas cinzas como composto orgânico dos solos não devem ser desprezadas.

De acordo com Brito et al. (1982), combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima.

Devido ao elevado poder calorífico superior da casca de pinhão manso, este coproduto pode ser aproveitado na combustão direta e geração de calor para processos de secagem do próprio pinhão manso, eliminando custos com o transporte para outras localidades. Singh et al. (2008) reforça que o transporte das cascas para longas distâncias inviabilizaria o seu aproveitamento, uma vez que apresenta baixa densidade (SINGH et al., 2008). Neste caso alguns cuidados devem ser tomados devido à quantidade de cinzas produzidos durante a queima. A recomendação de Vale et al. (2011) é que se tenha maior cuidado com a limpeza dos aparelhos de queima e maior atenção ao estado das tubulações devido às possíveis incrustações geradas.

Com relação ao aproveitamento da torta e do farelo, pode-se fazer algumas observações. Geralmente os processos de extração de óleo na indústria são realizados por prensagem seguido de extração por solventes para a remoção do óleo residual presente na torta (coproduto da extração por prensagem), gerando assim o coproduto denominado farelo, praticamente isento de óleo. A utilização da torta após duas passagens pela prensa, como fonte de energia, se mostrou mais interessante quando comparado ao farelo após extração completa do óleo, visto que dispensaria a etapa de extração por solvente que é lenta e demanda equipamentos e pessoal especializado para a sua condução. A prensagem das sementes para extração do óleo é um processo mecânico simples e barato quando comparado a outros métodos e que poderia ser realizado até mesmo pelos próprios produtores de pinhão manso no campo. A queima da torta não produz teores tão elevados de cinzas e libera maior quantidade de energia por unidade de massa de material do que o farelo com 0% e 10% de óleo.

Outra possibilidade de aproveitamento energético de cascas e tortas de pinhão manso é a compactação destes resíduos e produção de briquetes ou pellets (SINGH et al., 2008), principalmente quando a compactação for realizada no local onde são gerados estes coprodutos.

O processo de briquetagem ou peletização consiste na compactação do material, o que proporciona uma melhora nas propriedades do combustível para a queima. Além de aumentar o poder calorífico por unidade de volume, a compactação facilita nos processos de transporte e armazenamento e produz uma queima uniforme com menos fumaça e fuligem (PUROHIT et al., 2006).

O frete geralmente tem grande contribuição para a composição dos custos da fabricação do pellet e do briquete. No entanto, quando a produção de briquetes ou pellets é realizada com coprodutos gerados pela própria indústria, o custo com transporte de matéria-prima é desprezível e este produto se torna mais competitivo.

De acordo com Chandra et al. (2006), Ali et al. (2010) e Chandra et al. (2012), a torta ou farelo de pinhão manso também pode ser submetida a processos de digestão anaeróbica para a obtenção de biogás. Além disso, citam que

a vantagem desta forma de aproveitamento energético é que o efluente gerado pode ser utilizado como adubo orgânico, sem causar danos ao meio ambiente. No entanto estas formas de aproveitamento fogem ao escopo deste trabalho.

CONCLUSÕES

Os co-produtos da cadeia de produção de biodiesel de pinhão manso na forma de cascas, torta e farelo apresentam características energéticas que torna possível o seu aproveitamento para a produção de energia para diferentes processos.

O teor de óleo residual presente nos coprodutos exerce efeito significativo sobre seu poder calorífico superior. Quanto maior o teor de óleo residual no coproduto seja ele, torta ou farelo, maior o potencial energético.

As cascas, a torta e o farelo apresentaram poder calorífico semelhante à madeira de eucalipto e ao bagaço-decana, este último, muito utilizado em sistemas de cogeração na indústria sucroalcooleira. Sendo assim, estes coprodutos podem ser utilizados in natura ou compactados, na geração de calor para processos tanto na indústria processadora como no campo.

A torta (obtida por prensagem mecânica) foi o coproduto que apresentou melhores condições para queima direta quando comparada aos demais materiais avaliados.

Elevados teores de cinza e materiais voláteis foram encontrados nas amostras; no entanto, estes problemas podem ser contornados pela seleção de sistemas de queima apropriados à biomassa com tais características.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODOI, A. R.; CARMO, C. A.; EDUARDO, J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, p.260-258, 2008.
- ALI, N.; KURCHANIA, A. K.; BABEL, S. Biomethanisation of *Jatropha Curcas* defatted waste. *Journal of Engineering and Technology Research*, v.2, n.3, p.38-43, 2010.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633/84. Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112/86. Carvão vegetal – Análise imediata. São Paulo, 1986.
- BENEDETTI, O.; PLÁ, J. A.; RATHMANN, R.; PADULA, A. D. Uma proposta de modelo para avaliar a viabilidade do Biodiesel no Brasil. *Teoria e Evidência Econômica*, v.14, n. 82, p.81-107, 2006.
- BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; COUTO, L. T. Z.; MENDES, C. J.; REZENDE, G. C. Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca. *Revista Brasil Florestal*, Brasília, n.8, p.5-48, 1984.
- CHANDRA, R.; VIJAY, V. K.; SUBBARAO, P. M. V. A study on biogas generation from nonedible oil seed cakes:

- potential and prospects in India. In: The 2nd joint international conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)", Bangkok, Thailand, p. 21-3, 2006.
- CHANDRA, R.; VIJAY, V. K.; SUBBARAO, P. M. V.; KHURA, T. K. Production of methane from anaerobic digestion of jatropha and pongamia oil cakes. *Applied Energy*, v.93, p.148-159, 2012.
- CORDEIRO, L. N. P.; HENRIQUES, A. C. A.; SOUZA, P. S. L. Contribuição ao estudo de aproveitamento da cinza do caroço do açaí como material pozolânico. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2007, Bento Gonçalves, Anais... Bento Gonçalves: CBC 2007.
- COSTA, F. X.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, R. M. M.; LUCENA, A. M. A.; GIMARÃES, M. M. B. Avaliação de teores químicos na torta de mamona. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.2, 2004.
- DINIZ, J.; CARDOSO, A. L.; STAHL, J. A.; VILLETI, M. A.; MARTINS, A. F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. *Ciência e Natura*, v.26, n.2, p.25-32, 2004.
- GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da "cinza" de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. *IPEF*, v.49, n.48, p.28-37, 1995.
- GÜBITZ, G. M.; MITTELBACH, M.; TRABI, M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L.. *Bioresource Technology*, v. 67, p.73-82, 1999.
- HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. Biomass power generation: Sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. 217 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. 533p.
- JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989, (Comunicação Técnica, 1797).
- LI, C. Y.; DEVAPPA, R. K.; LIU, J. X.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. *Food Chemical Toxicology*, v.48, n.2, p.620–625, 2010.
- MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.88, n.9, p.1542-1548, 2008.
- MAKKAR, H. P. S.; KUMAR, V.; OYELEYE, O. O.; AKINLEYE, A. O. ANGULO-ESCALANTE, M. A.; BECKER, K. *Jatropha platyphylla*, a new non-toxic *Jatropha* species: physical properties and chemical constituents including toxic and antinutritional factors of seeds. *Food Chemistry*, v.125, p.63-71, 2011.
- MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C. S.; SOUZA, R. C. R. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 6, 2006, Campinas. Proceedings online... Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200019&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 Jan. 2011.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199p.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterization and chemical composition of densified biomass as fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass & Bioenergy*, v.27, p.653-669, 2004.
- OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. D. L.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. Estrutura Anatômica da Madeira e Qualidade do Carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir1. *Revista Árvore*, v.30, n.2, p.311-318, 2006.
- PUROHIT, P.; TRIPATHI, A. K.; KANDPAL, T. C. Energetics of coal substitution by briquettes of agricultural residues. *Energy*, v.31, p.1321-1331, 2006.
- RANGEL, L. P.; PERES, S.; CASTELLETTI, C. E. M.; ALMEIDA, C. H. T. Estudo da viabilidade técnica para geração de energia elétrica a partir dos resíduos da mamona. In: I Congresso Brasileiro de Mamona, Resumos... Campina Grande, 2004.
- RINALDI, R., GARCIA, C., MARCINIUK, L. L., ROSSI, A. V. SCHUCHARDT, U. Síntese de Biodiesel. Uma proposta Contextualizada de Experimento para Laboratório de Química Geral. *Química Nova*, v.30, n.5, p.1374-1380, 2007.
- RUSSOMANO, V. H. Introdução à administração de energia na indústria. São Paulo: Pioneira, 1987. 262 p.
- SERAFIMOVA, E. K.; MLADENOV, M.; MIHAILOVA, I.; PELOVSKI, Y. Study on the characteristics of waste wood ash. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, v.46, n.1, p.31-34, 2011.
- SINGH, R. N., VYAS, D. K., SRIVASTAVA, N. S. L.; NARRA M. SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of *Jatropha curcas* fruit for energy. *Renewable Energy*, v.33, n.8, p.1868-1873, 2008.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de Eucalyptus para produção de carvão vegetal. *Revista Cerne*, v.7, n.2, p.104-114, 2001.
- VALE A. T., Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*). *Cerne*, v.13, n.4, p.416-420, 2007.
- VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e torta de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Revista Cerne*, v.17, n.2, p.267-273, 2011.
- ZHANG, F. S.; YAMASAKI, S.; NANZYU, M. Waste ashes for use in agricultural production: I. Limiting effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals. *The Science of The Total Environment*. v. 01, n.03, p.215–25, 2002.