

## APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS VEGETAIS PARA A PRODUÇÃO DE BRIQUETES

UTILIZATION OF CROP RESIDUES FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTES

### *Gabriela Tami Nakashima*

Eng. Florestal, Mestranda em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil – gabi.tami@gmail.com

### *Mariana Provedel Martins*

Química, Pós doutoranda, UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil – mareprovedel@hotmail.com

### *Diego Aleixo da Silva*

Graduando em Eng. Florestal, UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil – aleixodiego@ig.com.br

### *Walbert Chrisostomo*

Doutorando em Engenharia de Materiais, USP, São Carlos, SP, Brasil – walbchris@hotmail.com

### *Fábio Minoru Yamaji*

Eng. Florestal, Dr., Departamento de Ciências Ambientais, UFSCar, Sorocaba, SP, Brasil – fmyamaji@ufscar.br

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi o de promover o aproveitamento energético de resíduos vegetais como o bagaço de cana-de-açúcar, a palha de milho, o capim elefante e a braquiária para a confecção de briquetes, avaliando também a influência da granulometria na durabilidade das biomassas compactadas. Assim, cada resíduo foi dividido nas granulometrias grossa (partículas de 40 a 60 mesh) e fina (partículas menores que 60 mesh). Os resíduos foram então compactados com o auxílio de uma prensa hidráulica, sem o uso de temperatura nem aglutinante, e os briquetes confeccionados foram avaliados quanto às suas expansões e resistências mecânicas. Observou-se que os briquetes de granulometria grossa apresentaram maior expansão, tornando-se frágeis e quebradiços, com exceção do capim elefante, que apresentou uma resistência mecânica média de 0,24 MPa. Já a granulometria mais fina para os resíduos de palha de milho, capim elefante e braquiária conferiu maior durabilidade e resistência para os briquetes.

**Palavras-chave:** bioenergia, biomassa, granulometria, resíduos.

## Abstract

The aim of this study was to promote the energetical reuse of crop residues such as sugar cane bagasse, corn stover, elephant grass and brachiaria for the production of briquettes, and also evaluate the influence of particle size on the durability of the compacted biomasses. Thus, each residue was divided into thick (particles of 40 to 60 mesh) and fine (particles smaller than 60 mesh) particle sizes. The residues were then compressed with the aid of a hydraulic press without the use of temperature or binder, and briquettes were evaluated by their expansion and mechanical strength. It was observed that briquettes made by thick particle size expanded more, becoming brittle and fragile, with the exception of elephant grass, which showed an average mechanical strength of 0.24 MPa. Moreover, the finer particle size for corn straw, elephant grass and brachiaria wastes has increased the durability and strength of the briquettes .

**Keywords:** bioenergy, biomass, particle size, residues.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma grande preocupação no que se refere à disponibilidade das fontes de energia não renováveis, como o petróleo e o carvão mineral. No cenário mundial, a questão energética gira em torno de três grandes motivações: os combustíveis fósseis como um recurso finito, a segurança no fornecimento energético e o aquecimento global (MacKay, 2009).

A biomassa vegetal é uma fonte alternativa e renovável de carbono, e uma das grandes questões sobre esse recurso é o de como utilizá-lo eficientemente. O Brasil é detentor de uma grande extensão de terras com um clima favorável para a prática da agricultura e de plantios energéticos, o que permite que o aproveitamento energético da biomassa ocorra de forma sustentável, respeitando as técnicas de cultivo e manejo e sem competir com a agricultura direcionada à produção de alimentos (Silva, 2007; Felfli *et al.*, 2011).

Uma forma de utilizar e aumentar a eficiência energética da biomassa vegetal é a compactação dos resíduos em combustíveis sólidos, como pellets e briquetes. Esse processo consiste na aglomeração de partículas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto compactado com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados (Quirino *et al.*, 2012). A princípio, todo resíduo vegetal pode ser compactado, desde que se determinem as condições apropriadas de umidade e granulometria dos materiais. Porém, alguns tipos de matéria-prima exigem cuidados especiais, como o bagaço de cana-de-açúcar e o capim elefante, que em virtude de suas elevadas higroscopicidades resultam em briquetes frágeis e com altas taxas de expansão (Yamaji *et al.*, 2013).

O ajuste do tamanho das partículas pode ser uma solução para melhorar a compactação da biomassa vegetal. Pereira *et al.* (2009) evidenciaram a importância da granulometria na confecção de briquetes de carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. A análise feita por Kaliyan e Morey (2009) revelou que partículas de tamanhos menores resultaram em pellets de maior durabilidade para diversas matérias-primas, em virtude da melhor acomodação e adesão das partículas menores nas biomassas compactadas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi a confecção de briquetes utilizando resíduos de bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, capim elefante e braquiária. Essas biomassas normalmente apresentam maior dificuldade na formação e na durabilidade do material compactado. Assim, optou-se por verificar a influência da granulometria desses resíduos no processo de compactação, verificando-se a viabilidade da obtenção de briquetes com essas matérias-primas sem a necessidade do uso de temperatura ou aglutinante.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Material utilizado*

Foram utilizados os resíduos de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), palha de milho (*Zea mays* L.), capim elefante (*Pennisetum* sp.) e poda de jardim (*Brachiaria* sp.). O bagaço de cana-de-açúcar foi coletado em uma usina de açúcar e etanol do município de Boituva/SP, a palha de milho foi coletada in natura e o capim elefante e a poda de jardim foram coletados em campo. Os materiais foram divididos em granulometria grossa (partículas retidas nas peneiras 40 e 60 mesh) e fina (partículas menores que 60 mesh). Foram realizados oito tratamentos: T1 (bagaço de cana-de-açúcar/fina); T2 (palha de milho/fina); T3 (capim elefante/fina); T4 (braquiária/fina); T5 (bagaço de cana-de-açúcar/grossa); T6 (palha de milho/grossa); T7 (capim elefante/grossa); T8 (braquiária/grossa).

### *Classificação granulométrica*

Os materiais previamente secos foram triturados em um moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas tipo Willey. Para a classificação granulométrica, cada biomassa passou por um agitador orbital de peneiras com batidas intermitentes no topo, modelo MA 750, durante 5 minutos. Foram utilizadas as seguintes peneiras: 40 mesh, 60 mesh, 100 mesh e 200 mesh.

### *Teor de umidade*

O teor de umidade dos materiais foi ajustado para 12% por meio da secagem das matérias-primas em uma estufa com temperatura constante a  $105(\pm 2)^\circ\text{C}$  e com o auxílio de uma balança determinadora de umidade tipo MX-50.

### *Análise química imediata*

Os teores de cinzas e voláteis foram obtidos em triplicata conforme a norma ABNT NBR 8112/86. O carbono fixo foi calculado subtraindo-se de 100% a soma dos teores de voláteis e de cinzas, demonstrado na Equação 1.

$$CF = 100\% - (TC + TV) \quad (1)$$

Sendo:

$$CF = \text{Carbono Fixo (\%), TC = teor de cinzas (\%) e TV = teor de voláteis (\%)}$$

O poder calorífico superior foi obtido conforme norma ABNT NBR 8633/84, no Laboratório de Análises Calorimétricas da Universidade Estadual Paulista - UNESP campus Itapeva, em uma bomba calorimétrica C5000 IKA.

### *Densidade*

A densidade a granel das biomassas foi determinada em triplicata, segundo a norma ABNT NBR 6922/81. Foi utilizado um béquer de 4 L de capacidade e de peso conhecido. A massa específica dos resíduos foi determinada nas condições em que estavam disponíveis na fonte geradora.

### *Briquetagem*

No processo de briquetagem, utilizou-se uma prensa hidráulica Marconi- MA 098 com capacidade de 15 toneladas e um molde cilíndrico de aço inoxidável com 3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura. Foram adicionados

ao molde 20 g de cada mistura para a confecção dos briquetes, os quais foram compactados a uma pressão de 61,48 kgf.cm<sup>-2</sup> durante 30 segundos. No processo de prensagem não foi utilizado nenhum tipo de aglutinante e temperatura. Foram produzidos 10 briquetes para cada tratamento, os quais foram acondicionados em um recipiente fechado, para que não houvesse interferência de umidade e temperatura externa.

### *Estabilidade dimensional e ensaio mecânico*

Após a briquetagem, a altura e o diâmetro de cada briquete foram medidos com o auxílio de um paquímetro digital para acompanhar a sua expansão durante um período de 70 h, quando ocorreu a estabilização da expansão dos briquetes. Após as 70 h, a resistência mecânica dos briquetes foi determinada por meio do ensaio mecânico de tração por compressão diametral, adaptado da norma ABNT NBR 7222/11, utilizando-se uma máquina universal de ensaios EMIC com capacidade máxima de 300 kN, com uma célula de carga de 500 N a uma velocidade de 3 mm/min. A carga foi aplicada no sentido transversal da amostra, perpendicular à pressão de compactação.

### *Análise estatística*

Os resultados do poder calorífico, densidade aparente e da resistência mecânica foram submetidos à análise de variância, sendo que a comparação entre os tratamentos foi analisada por meio do teste F, a 5% de significância. Quando a hipótese nula foi rejeitada, as médias foram comparadas também a 5% de significância pelo teste de Tukey. Para a análise estatística foi utilizado o *software* R versão 2.11.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Classificação granulométrica

A análise granulométrica das biomassas mostrou como as partículas de bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho, capim elefante e poda de jardim estão distribuídas entre os tamanhos de 40 a 200 mesh (Figura 1).

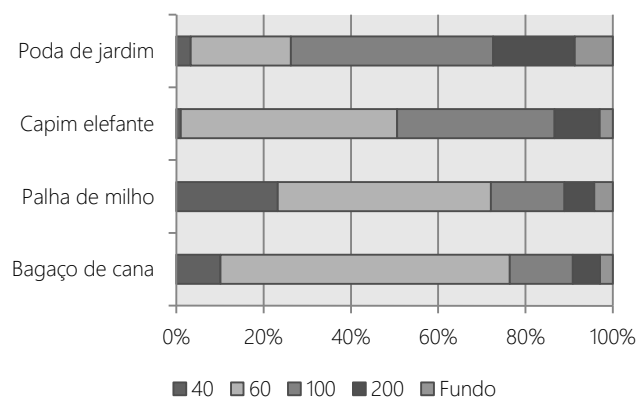


Figura 1 - Classificação granulométrica dos resíduos

Foi possível observar que os materiais apresentaram granulometrias distintas, de modo que os resíduos de capim elefante, palha de milho e bagaço de cana-de-açúcar foram compostos majoritariamente por partículas com diâmetros iguais ou superiores a 0,25 mm (60 mesh), enquanto a poda de jardim apresentou uma

fração maior de partículas (50%) com diâmetros iguais ou superiores a 0,15 mm (100 mesh). Essa diferença na granulometria dos resíduos pode ser associada às diferentes características naturais e estruturais das biomassas utilizadas (Protásio *et al.*, 2011).

A classificação granulométrica dos materiais é de grande importância, uma vez que o tamanho das partículas influencia tanto na densidade a granel das biomassas quanto na durabilidade e resistência dos briquetes (Kaliyan & Morey, 2009). De acordo com a distribuição granulométrica demonstrada na figura 1, optou-se então por dividir os resíduos em duas granulometrias distintas para a confecção dos briquetes: grossa (partículas retidas nas peneiras de 40 e 60 mesh) e fina (partículas que passam pela peneira 60 mesh).

### Análise química imediata

Os resíduos utilizados nesse trabalho são formados por uma mistura heterogênea e complexa de constituintes orgânicos e inorgânicos, o que faz com que a análise química imediata dessas biomassas seja indispensável na sua caracterização, uma vez que a sua composição química influencia diretamente no processo de combustão (Santos *et al.*, 2011). A análise química dos resíduos e seus respectivos poderes caloríficos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados obtidos da análise imediata e poder calorífico para cada biomassa vegetal

Biomassa	Teor de Cinzas (%)	Teor de Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Poder Calorífico (kcal.kg <sup>-1</sup> )
Bagaço de cana-de-açúcar	1,58	84,03	14,39	4196,58 a
Palha de milho	1,92	80,73	17,35	4014,99 a
Capim elefante	3,8	78,98	17,22	4110,77 a
Poda de jardim	4,58	82,01	13,41	3979,53 a

Segundo Obernberger & Thek (2004), o teor de materiais voláteis é alto nos combustíveis de biomassa, podendo variar entre 76 - 86% (base seca), o que acarreta em uma maior emissão de gases durante a combustão, resultando em uma queima acelerada e dificultando que altas temperaturas sejam atingidas nos fornos. Os teores de materiais voláteis determinados para os quatro resíduos utilizados neste trabalho mostraram-se dentro do intervalo proposto.

O teor de cinzas corresponde aos elementos inorgânicos (como cálcio, potássio, ferro, silício, zinco, entre outros minerais) que participam da composição da biomassa, mas não sofrem combustão, sendo responsáveis pela formação das cinzas residuais. O alto teor de cinzas encontrado para a poda de jardim e o capim elefante se justifica pelo alto grau de contaminantes provenientes do solo, já que estes materiais foram manuseados da forma como foram coletados. Esse elevado teor de cinzas indica uma desvantagem desses resíduos para a

produção de briquetes, já que as cinzas colaboram para o desgaste acelerado dos moldes e pistões usados na briquetagem, além de formar um resíduo sólido incrustante nos queimadores dos fornos (Yaman, 2003).

As biomassas de palha de milho e de capim elefante resultaram nos melhores valores para carbono fixo. O teor de carbono fixo corresponde ao contribuinte mais energético da biomassa, que apresenta uma queima mais lenta, o que aumenta a durabilidade e o rendimento energético do combustível no forno. Segundo Brito & Barrichelo (1982) o teor de carbono fixo para os materiais lignocelulósicos varia entre 14% - 25%. Dessa forma, apenas o resíduo de poda de jardim apresentou-se fora do intervalo proposto, o que pode ser justificado em virtude do elevado teor de cinzas determinado para essa biomassa.

O poder calorífico é um excelente parâmetro para se avaliar a potencialidade energética das biomassas, sendo definido como a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa. O Teste de Tukey indicou que não houve diferença entre o poder calorífico dos materiais testados.

### Densidades a granel e aparente

Os resultados obtidos para a densidade a granel (dos resíduos) e para a densidade aparente (dos briquetes) são encontrados na tabela 2.

Tabela 2. Densidades a granel e aparente das matérias-primas utilizadas

Biomassa	Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	Densidade aparente (kg.m <sup>-3</sup> )	
		Grossa	Fina
Bagaço de cana-de-açúcar	55,4 c	847,9	949,5 b
Palha de milho	88,4 d	nd*	934,3 a
Capim elefante	50,9 b	890,8	956,9 b
Poda de jardim	25,8 a	936,0	1066,6 c

nd: não determinado devido à instabilidade estrutural do briquete

Houve diferença estatística para a densidade a granel entre os diferentes tipos de biomassa. A maior densidade a granel é essencial para a viabilidade econômica de um combustível, pois favorece a sua densidade energética e reduz os custos relacionados ao seu transporte e estocagem.

Já para a densidade aparente dos briquetes (granulometria fina), os briquetes de palha de milho e de poda de jardim diferiram entre si e dos outros dois materiais, sendo observada uma melhor compactação para o resíduo de poda de jardim. Não houve diferença estatística entre as biomassas de bagaço de cana-de-açúcar e capim elefante. Foi possível comprovar que a transformação do resíduo (densidade a granel) em briquete (densidade aparente) favorece seu armazenamento e transporte, pois com a compactação da biomassa tem-se um melhor aproveitamento do espaço. Sendo assim, a poda de jardim apresentou o melhor resultado para a compactação, representando uma redução de volume de cerca de 40 vezes.

### Estabilidade dimensional dos briquetes

Com relação à estabilidade dimensional dos briquetes, avaliou-se a sua expansão longitudinal por um período de 70 h, período esse necessário para a estabilização do volume dos corpos de prova. As Figuras 2 e 3 apresentam a expansão média longitudinal no decorrer do tempo para os briquetes confeccionados com as granulometrias grossa e fina, respectivamente.

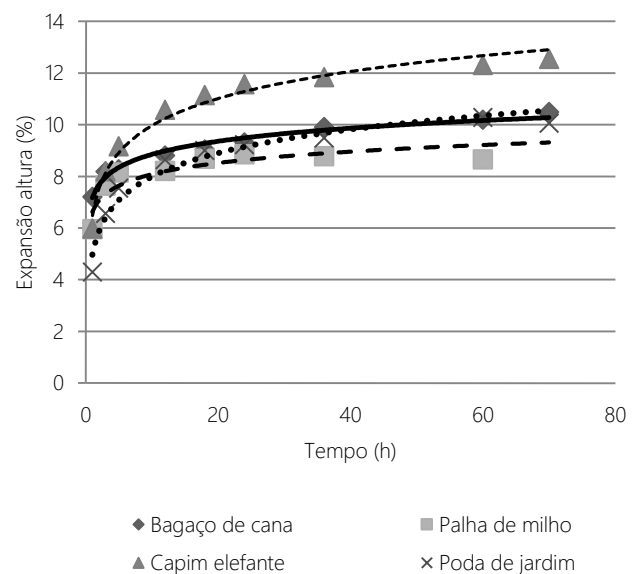


Figura 2 - Expansão média da altura dos briquetes para granulometria grossa

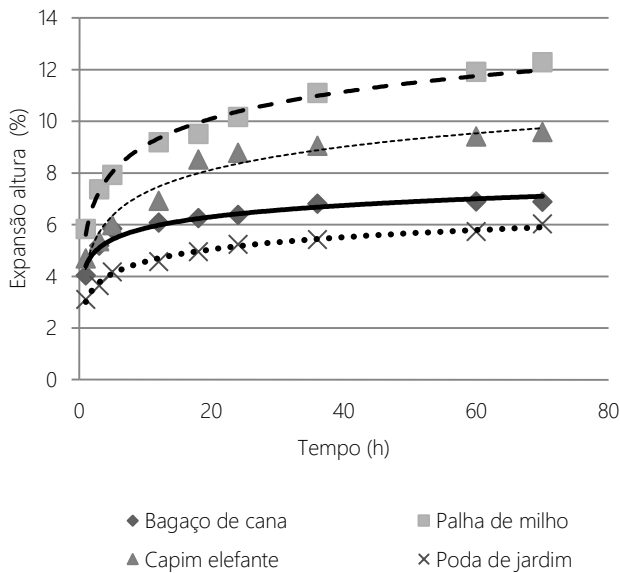


Figura 3 - Expansão média da altura dos briquetes para granulometria fina

Foi possível observar, por meio das Figuras 2 e 3, que a maior expansão longitudinal dos briquetes (cerca de 8%) ocorreu nas primeiras 5 h após a briquetagem, mas foi necessário um período de aproximadamente 70 h para que não se observassem mais alterações significativas na altura dos briquetes. Observou-se também que os briquetes confeccionados com as biomassas de bagaço de cana-de-açúcar, capim elefante e poda de jardim de granulometria fina apresentaram uma menor porcentagem de expansão que aqueles confeccionados com granulometria grossa. Um comportamento diferente foi observado para os briquetes confeccionados com a palha de milho, de modo que, nesse caso, os briquetes de granulometria grossa expandiram menos que os briquetes de granulometria fina.

Yamaji *et al.* (2013) estudaram a higroscopicidade de algumas biomassas, dentre elas, o bagaço de cana-de-açúcar e o capim elefante apresentaram os maiores valores de expansão em altura, demonstrando serem os materiais que mais sofreram interferência da umidade. Protásio *et al.* (2011) avaliaram a compactação de briquetes obtidos a partir de casca de café, serragem de eucalipto e resíduo de milho. Nesse caso, o resíduo de milho apresentou a maior expansão volumétrica (25,26% em 72 h) dentre os três materiais estudados.

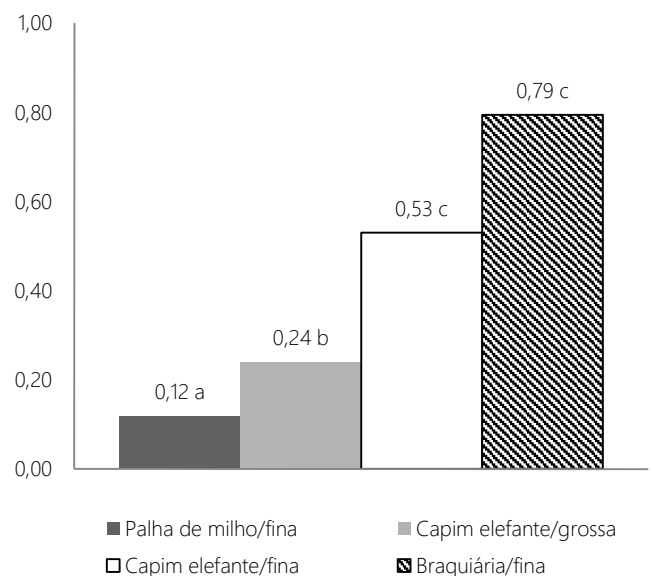
De um modo geral, observou-se que os briquetes de granulometria fina apresentaram uma melhor

compactação inicial que os briquetes de granulometria grossa. Contudo, devido à natureza distinta das biomassas, foi possível observar comportamentos diferentes quanto à estabilidade dimensional dos briquetes. A expansão longitudinal dos briquetes pode ser ocasionada por diversos fatores, como pela higroscopicidade das biomassas, pelo relaxamento natural inerente às suas fibras ou ainda por uma menor adesão entre as partículas compactadas (Yamaji *et al.*, 2013). Assim, a variação volumétrica é uma propriedade que deve ser observada com cuidado após o processo de compactação, pois normalmente é inversamente proporcional à resistência mecânica dos briquetes (Protásio *et al.*, 2011).

### Resistência mecânica

Os ensaios mecânicos realizados para as biomassas de bagaço de cana-de-açúcar (granulometrias grossa e fina), palha de milho (granulometria grossa) e poda de jardim (granulometria grossa) não apresentaram resultados satisfatórios. A fragilidade dos briquetes confeccionados proporcionou uma ruptura em suas faces transversais, interferindo assim no resultado dos ensaios.

Já as biomassas de capim elefante (granulometrias grossa e fina), palha de milho (granulometria fina) e poda de jardim (granulometria fina) resultaram em briquetes estáveis, sendo possível, portanto, a realização do ensaio mecânico de tração por compressão diametral. Os valores de tensão máxima obtidos para cada um desses tratamentos são apresentados na Figura 4.



**Figura 4 - Tensão máxima média para palha de milho, capim elefante e braquiária com granulometria fina e capim elefante com granulometria grossa, com seus desvios padrão e teste Tukey a 5% de significância.**

Observou-se que os tratamentos submetidos ao ensaio mecânico foram estatisticamente diferentes ao nível de 5% de significância. Os briquetes produzidos a partir de braquiária com granulometria fina mostraram-se os mais resistentes, apresentando uma tensão máxima média de 0,79 MPa (85,27kgf). E a biomassa de capim elefante foi a única que formou os briquetes com granulometria grossa e fina. Nesse caso, observou-se que os briquetes de granulometria fina apresentaram uma resistência mecânica duas vezes maior que os briquetes de

granulometria grossa, evidenciando assim a importância da avaliação da granulometria dos resíduos na sua compactação.

Assim, as gramíneas utilizadas nesse trabalho foram as que apresentaram os melhores resultados quanto à resistência mecânica dos briquetes (capim elefante com 0,53 MPa ou 62,73kgf e braquiária com 0,79MPa ou 85,27kgf), embora seja importante ressaltar que essas biomassas foram as que apresentaram os maiores teores de cinzas, o que prejudica a qualidade final dos briquetes. A biomassa de bagaço de cana-de-açúcar demonstrou-se inviável para a confecção de briquetes nas condições de granulometria e umidade testada, sendo necessários novos estudos para a compactação desse material.

## CONCLUSÕES

A granulometria é um fator que interferiu diretamente na produção dos briquetes. A granulometria mais fina (>60 mesh) para as biomassas de palha de milho, capim elefante e poda de jardim, conferiu uma maior durabilidade e resistência mecânica para os briquetes. O uso da granulometria grossa (<60 mesh) ocasionou em briquetes muito frágeis e pouco estáveis, não sendo possível avaliar as suas resistências mecânicas, com exceção dos briquetes de capim elefante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922** - carvão vegetal - ensaios físicos - determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981. 2 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633** - carvão vegetal - determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112** - carvão vegetal - análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222** - concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.
- BRITO, J. O.; BARRICHELLO, L. E. G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis**. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., São Paulo, 1982. Palestras apresentadas. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. p. 101-137.
- FELFLI, F. F.; MESAP, J. M.; ROCHA, J. D.; FILLIPPETO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. **Biomass briquetting and its perspectives in Brazil**. Biomass and Bioenergy, Oxford, GB, v. 35, n. 1, p. 236-242, 2011.
- KALIYAN, N.; MOREY, R. V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products**. Biomass and Bioenergy, Oxford, GB, v. 33, n. 3, p. 337 – 359, 2009.
- MacKAY, D. J. C. **Sustainable Energy - Without the hot air**. Versão 3.5.2. UIT Cambridge, Inglaterra, 2009. 370 p.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G. **Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior**. Biomass and Bioenergy, Oxford, GB, v. 27, n. 6, p. 653-669, 2004.
- PEREIRA, F. A.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; LÚCIA, R. M. D. ; JÚNIOR, W. P.; BIANCHE, J. J. **Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio**. Floresta e Ambiente. v.16, n. 1, p. 23 – 29, 2009.
- PROTÁSIO, T.P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. **Compactação de biomassa vegetal visando a produção de biocombustíveis sólidos**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.31, n.68, p. 273-283, 2011
- QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C.O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO, M. **Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.
- SANTOS; M. L.; LIMA, O. J.; NASSAR, E. J.; CIUFFI, K. J.; CALEFI, P. S. **Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica**. Química Nova, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 507-511, 2011.
- SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos**. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Planejamento Energético) - UNICAMP, Campinas, 2007.
- YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. **Análise do comportamento higroscópico de briquetes**. Energia na agricultura. v.28, n.1, p. 11 -15, 2013.
- YAMAN, S. **Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks**. Energy Conversion & Management, Oxford, GB, v. 45, n. 5, p. 651-671, 2004.