

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL SÓLIDO A PARTIR DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BRAQUIÁRIA¹

LUIS RICARDO OLIVEIRA SANTOS², MURILO CARLOS PRIMIANO-FILHO², GABRIELA TAMI NAKASHIMA², ANA LARISSA SANTIAGO HANSTED³, DIEGO ALEXANDRO DA SILVA², LETÍCIA SANT'ANNA ALESI², LUCIANO DONIZETI VARANDA², FÁBIO MINORU YAMAJI²

¹ Apresentado no Congresso de Energias Renováveis da UFSCar: 23 a 26 de maio de 2017 – Sorocaba-SP, Brasil

² Universidade Federal de São Carlos, campus de Sorocaba, Departamento de Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Sorocaba-SP, Brasil.

E-mail: lrtatui@gmail.com

³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, SP, Brasil.

RESUMO

Pela crescente inquietação mundial de aumentar o uso de energia de fontes renováveis, os resíduos das mais variadas origens destacam-se como atraentes alternativas energéticas. Este trabalho teve como objetivo caracterizar quimicamente e fisicamente a palha de cana-de-açúcar e a braquiária, para a produção de combustível sólido. Foram realizados cinco tratamentos: T1: 100% palha de cana, T2: 75% palha de cana e 25% braquiária, T3: 50% palha de cana e 50% braquiária, T4: 25% palha de cana e 75% braquiária e T5: 100% braquiária. Foi constatado que todos os tratamentos apresentaram propriedades aceitáveis como o PCS ($> 17500 \text{ J/g}$) e teor de carbono fixo ($> 19\%$). Os resultados mostraram que ambos os materiais possuem potencial para o uso como biocombustível sólido.

Palavras-chave: Resíduos, Briquete, Bioenergia, Poder Calorífico Superior.

PRODUCTION OF SOLID FUEL FROM SUGARCANE STRAW AND BRACHIARIA GRASS

ABSTRACT

Among increasing global unrest about the use of renewable energy, wastes from several sources stand out as attractive energy alternatives. This paper aimed to characterize chemically and physically the sugarcane straw and the brachiaria grass for the production of solid fuel. Five treatments were performed. T1: 100% cane straw, T2: 75% cane straw and 25% brachiaria grass, T3: 50% cane straw and 50% brachiaria grass, T4: 25% cane straw and 75% brachiaria grass and T5: 100% brachiaria grass. It was found that all treatments showed acceptable properties, such as HHV ($> 17500 \text{ J/g}$) and fixed carbon ($> 19\%$). The results showed that both materials have potential to be used as a solid biofuel.

Keywords: Wastes, Briquette, Bioenergy, High Heating Value.

INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia – BEN (2016), as energias de fontes renováveis representam 41,2% da oferta interna de energia no Brasil. Destaque para a biomassa da cana 16,9%, hidráulica 11,3%, lenha e carvão 8,2% e lixívia e outras renováveis 4,7%. Biomassa de origem vegetal é uma fonte alternativa e renovável de combustível, gerando assim oportunidades de exploração desta matéria-prima.

O Brasil é privilegiado neste quesito do uso de biomassa, por possuir em seu território vasta 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, manejo e sem competir com a agricultura direcionada à produção de alimentos (FELFLI et al., 2011; SILVA, 2007).

Buscando aumentar e potencializar energeticamente a biomassa vegetal, por meio da compactação dos resíduos em combustíveis sólidos, como pellets e briquetes. Processo este que consiste na compactação de partículas por meio de pressão, com auxílio ou não de um

aglutinante. Permitindo, assim, a obtenção de um produto compactado, com forma, tamanho e parâmetros mecânicos definidos (NAKASHIMA et al., 2012; QUIRINO et al., 2012).

De forma geral, todo e qualquer resíduo vegetal pode ser compactado, desde que se determinem e mantenham 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 higroscopícidades resultam em briquetes frágeis e com altas taxas de expansão (NAKASHIMA et al., 2012; YAMAJI et al., 2013).

Na cana-de-açúcar, seus principais resíduos são a palha, constituída por ponteiros e folhas, seguidos pelo bagaço. A queima da palha da cana-de-açúcar antes da colheita era uma prática comum e econômica para as usinas, visava aumentar o rendimento da colheita manual. No entanto, esta prática não é mais aceita, devido a melhora na tecnologia pela colheita mecanizada e por leis que proíbem sua queima (PADILLA et al., 2016).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo caracterizar química e fisicamente e analisar o PCS (poder calorífico superior) da palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e do capim Brachiária (*Brachiaria sp*), com intuito de produzir um combustível sólido em formato de briquetes. Potencializando, assim, o uso de resíduos para fins energéticos. Essas biomassas normalmente apresentam maior dificuldade na formação e na durabilidade do material compactado (NAKASHIMA et al., 2012).

MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos e as análises foram realizados no laboratório de Biomassa e Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos, campus de Sorocaba.

Matérias-primas

Os materiais estudados foram o capim brachiária (*Brachiaria sp*) e a palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). A *Brachiaria sp* foi coletada no campus da Universidade Federal de São Carlos, no município de Sorocaba-SP, coordenadas latitude 23° 30' 06" S e longitude 47° 27' 29" W. A palha de cana-de-açúcar foi coletada na Fazenda Corredeira, município de Ibaté-SP, coordenadas latitude 21° 57' 17" S e longitude 47° 59' 48" W.

Classificação e seleção granulométrica

A *Brachiaria* sp. e a palha de cana-de-açúcar foram acondicionadas em estufa com circulação de ar, da marca Marconi e modelo MA-035. Após a secagem foram trituradas no moinho de facas tipo Willey da marca Marconi e modelo MA-340. Posteriormente, realizou-se a classificação granulométrica dos materiais, colocando-se cada resíduo em um peneirador vibratório orbital, com batidas intermitentes no topo, pertencente a marca Marconi e modelo MA-75 com malhas de 35, 60, 100, 200 mesh e fundo, respectivamente, conforme norma ABNT NBR 248:2003, onde cada teste foi feito com 100g de material durante três minutos. A granulometria utilizada para análise química, análise imediata e poder calorífico superior foi de 60 mesh.

Análise imediata

A obtenção dos teores de cinzas e materiais voláteis foram realizadas conforme a norma ASTM E870-82:2013. O teor de carbono fixo foi calculado conforme a equação 1. As análises dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo foram realizadas em triplicatas para cada material.

$$CF = 100 - (CI + VO) \quad (1)$$

Em que: CF = teor de carbono fixo (%); CI = teor de cinzas (%) e VO = teor de materiais voláteis (%).

O poder calorífico superior foi obtido conforme norma ASTM E870-82:2013, em um calorímetro da marca IKA e modelo C200. O procedimento foi realizado em triplicatas para cada material.

Teor de extrativos

Os teores de extrativos totais foram realizados com base nas normas TAPPI 204 om-97:2007 e TAPPI 207 om-99:1999. Foram utilizados dez envelopes de papel filtro, contendo

aproximadamente 2,0g de material com granulometria de 60 mesh (0,5 mm) em cada envelope, sendo 5 envelopes para cada amostra. Para a extração sequenciada foi utilizado o extrator tipo Soxhlet. A primeira extração foi em cicloexano/etanol, na proporção 1:1, por um período de 6 horas. Depois realizou-se a extração em etanol puro por 4 horas. Após as duas etapas de extração, o material obtido foi transferido para um bêquer para a extração em água quente (100 °C). O tempo de extração foi de 3 horas. Para a determinação do teor de extractivos, após cada etapa da extração o material foi seco em estufa a 105 ± 2 °C até atingir massa constante. Posteriormente foi resfriado em dessecador com sílica gel e pesado em uma balança analítica.

O teor de lignina Klason

O teor de lignina de Klason foi determinado de acordo com o método TAPPI T222 om-02:2006. Aproximadamente 1,0g das amostras de palha de cana-de-açúcar e *Brachiaria* sp. sem extractivos e secas foram transferidas para um bêquer com capacidade de 80 mL e submetido à hidrólise com 15 mL de H₂SO₄ a 72%. O bêquer foi mantido a 2°C durante 10 min para a dispersão do material. Após a dispersão cobriu-se o bêquer com um vidro de relógio e manteve-o em banho maria por duas horas a 20 ± 1 °C, em agitação constante. Em seguida, transferiu-se o conteúdo do bêquer para um erlenmeyer de 1000 mL, onde foram acrescentados 345 mL de água destilada, diluindo a solução ácida para 3%. O material foi mantido a 100 °C por 4 horas, mantendo o volume constante, por meio de adição de água quente.

Após este processo o material foi deixado para esfriar e decantar em temperatura ambiente. Filtrou-se a solução em um funil de Buchner, com auxílio de uma bomba de vácuo. As ligninas, retidas no funil, foram secas em estufa a 105 ± 2 °C até massa constante. Posteriormente foi resfriado em dessecador com sílica gel e pesado em uma balança analítica.

Produção de briquetes

Para a briquetagem foi utilizada uma prensa hidráulica de 30 t, da marca Marconi, modelo MPH-30, com molde de aço inox de 3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura. Foram utilizadas 20g de biomassa para cada briquete. O teor de umidade foi ajustado em 12% com

auxílio de um borrifador de água e balança. A compactação foi realizada com uma pressão de 1247,2 kgf.cm⁻² durante 30s, sem a utilização de aquecimento e nem de aglutinantes.

Foram realizados cinco tratamentos, sendo: 100% palha de cana-de-açúcar (T1); 75% palha de cana-de-açúcar e 25% braquiária (T2); 50% palha de cana-de-açúcar e 50% braquiária (T3); 25% palha de cana-de-açúcar e 75% braquiária (T4) e 100% braquiária (T5). Foram produzidos 15 briquetes para cada tratamento, num total de 75 briquetes.

Expansão longitudinal

Para analisar a expansão longitudinal, foi realizada a medição da altura (direção de compactação) dos briquetes com um paquímetro digital da marca INSIZE com capacidade de 150 mm e precisão de 0,01 mm, nos intervalos de 0, 1, 3, 6, 9, 18 e 24 h.

Resistência à tração por compressão diametral

Após a estabilização da expansão dos corpos de prova, submeteu-se 10 corpos de prova de cada tratamento a carga no sentido transversal da amostra, perpendicular à pressão de compactação. O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaios da marca EMIC DL30000N, utilizando uma célula de carga de 500 kgf e velocidade de ensaio de 1mm.min⁻¹.

Friabilidade

Para analisar a resistência mecânica dos briquetes durante o manuseio e transporte utilizou-se o índice de friabilidade, conhecido como teste de tamboramento, baseado na norma ABNT NBR 8740:1985. Foram utilizadas cinco amostras de cada tratamento empregando um friabilômetro com as dimensões de 30 x 30 x 10 cm, com 30 rotações por minuto (rpm) durante 15 minutos, totalizando-se aproximadamente 500 rotações para cada tratamento. Foram realizados cinco ensaios, um para cada tratamento, com cinco amostras de cada tratamento.

Análise estatística

As análises estatísticas de variância ANOVA e o teste de Tukey foram realizados com o auxílio do *software* estatístico R 3.0.1 e seu componente Tinn-R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação e seleção granulométrica

Os resultados das duas distribuições granulométricas podem ser observados na Figura 1.

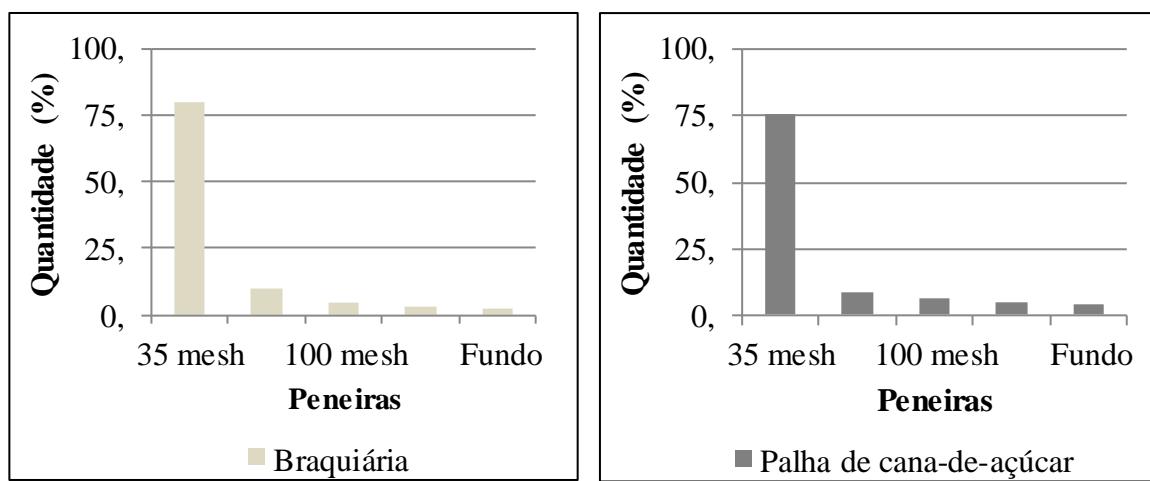


Figura 1: Análise granulométrica da braquiária (a) e da palha de cana-de-açúcar (b).

Verifica-se que após a moagem do material, houve maior retenção de resíduos na peneira de 35 mesh, ou seja, de partículas maiores que 0,5 mm. Com o objetivo de promover uma compactação mais rústica e tentar simular o ambiente industrial, visando consequentemente o processo mais barato, por percorrer menos etapas, optou-se por briquetar os materiais de braquiária e palha de cana-de-açúcar com todas as diferentes granulometrias.

Análise imediata

A Tabela 1 ilustra os resultados obtidos na análise imediata dos tratamentos de palha de cana-de-açúcar e braquiária.

Tabela 1: Análise imediata das médias dos tratamentos.

Material	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)	Poder Calorífico (J/g)
Palha de Cana	77,53	4,15	19,14	17860,67
Braquiária	73,45	6,63	19,92	17743,98

Os valores encontrados na literatura do teor de cinzas para a palha de cana-de-açúcar variam de 4,32% a 12,48% (SANTOS; FRANCO; BERNI, 2015). A forma como as amostras foram coletadas e sua procedência podem ter tido uma enorme influência sobre os resultados, seria esta uma das possíveis explicações para a variação dos resultados obtidos. Teores elevados de cinzas na palha da cana-de-açúcar podem ser decorrentes da contaminação durante o processo de enleiramento e recolhimento da palha após a colheita (NAKASHIMA, 2016). O teor de cinzas encontrado na literatura da braquiária foi de 7,58% (PESSOA-FILHO, 2013) e o do presente trabalho foi de 6,63%, esses valores podem ser considerados altos, levando-se em consideração a decorrência da contaminação do material.

O teor de cinzas é uma característica de grande importância, indicando o conteúdo de minerais presentes na composição da matéria-prima formadora do briquete, interferindo e impactando no seu uso final (FLORES, 2010). As biomassas que possuem valores expressivos de cinzas podem ser prejudiciais nos processos industriais, pois o contato deste resíduo com partes metálicas podem beneficiar e contribuir para o surgimento da corrosão, diminuindo assim a vida útil do equipamento (RICHARDSON et al., 2002).

O teor de materiais voláteis e carbono fixo da palha de cana-de-açúcar obtidos na literatura foram de 70,59 e 17,22%, respectivamente. Os valores encontrados nesse trabalho foram de 77,53% (teor de materiais voláteis) e 19,14% (teor de carbono fixo). De acordo com a equação 1, o teor de carbono fixo está em função do teor de cinzas e teor de materiais voláteis. O menor teor de cinzas poderá resultar no maior teor de carbono fixo, que poderá resultar no maior poder calorífico superior. O teor de materiais voláteis e carbono fixo da braquiária encontrados na literatura foram de 72,80 e 19,61% (PESSOA-FILHO, 2013), respectivamente. Comparando-se estes valores com os verificados neste estudo de 73,45% (teor de materiais voláteis) e 19,92% (teor de carbono fixo), esses se mostram dentro do esperado e comprovados pela literatura. O carbono fixo é o maior contribuinte de fonte energética na biomassa, quando aplicada como combustível, para a produção de energia du-

rante a combustão e proporciona uma queima mais lenta, o que aumenta a durabilidade e rendimento energético do combustível nos fornos (SANTOS, 2015). Os materiais voláteis referem-se a parte que se desprende rapidamente na queima, se desprendendo nos primeiros instantes da queima, não participando do processo de queima (SANTOS, 2015).

O poder calorífico superior da palha de cana-de-açúcar encontrado na literatura foi de 18056,72 J/g (NAKASHIMA, 2016) e o valor obtido neste estudo foi de 17860,67 J/g. O poder calorífico superior da braquiária obtido na literatura foi de 17506,55 J/g (PESSOA-FILHO, 2013) e o valor deste trabalho foi de 17743,98 J/g. Os dois valores se mostram maiores do que o valor do poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus urograndis* de 17237,05 J/g (DIAS JÚNIOR et al., 2015), mostrando o grande potencial de geração de energia das duas biomassas estudadas.

Para que o briquete seja um produto competitivo no mercado, é oportuno que seu poder calorífico seja elevado para as finalidades às quais ele se destina, como caldeiras, fornalhas ou na geração de eletricidade (GONÇALVES; SARTORI; LEÃO, 2009).

Análise química

A Tabela 2 indica os valores em porcentagem encontrados na análise química dos tratamentos da palha de cana-de-açúcar e braquiária.

Tabela 2. Análise química dos tratamentos.

Material	Extrativos	Lignina
	Totais	Insolúvel
	(%)	(%)
Palha de cana	9,43	21,45
Braquiária	16,61	17,83

Os extractivos presentes no material lignocelulósico colaboraram com o poder calorífico do biocombustível sólido, uma vez que possuem conteúdo energético em suas moléculas constituintes liberadas durante a combustão (QUIRINO et al., 2004). A análise

mostrou que a palha de cana-de-açúcar contém teores de extrativos totais de 9,43%. O valor encontrado na literatura foi de 12,75% (NAKASHIMA, 2016), mostrando que durante as extrações podem ter ocorrido perdas do material. Já o resultado de extrativos encontrado para a braquiária foi de 16,61%, mostrando ser abaixo do valor encontrado na literatura de 20,48% (PATERLINI et al., 2013). Essa diferença pode ser devido à matéria-prima que se realizou a comparação referir-se a espécie *Pennisetum purpureum*, conhecida como capim-elefante.

A capacidade energética da biomassa está associada ao seu teor de carbono que é essencialmente contido na lignina (OLIVEIRA, 1982). O valor de lignina insolúvel presente na amostra de palha de cana-de-açúcar foi de 21,45%. O valor encontrado na literatura foi de 20,85% (PESSOA-FILHO, 2013). Enquanto que o valor de lignina insolúvel da braquiária analisado foi de 17,33%, assinalando com um valor abaixo do encontrado em literatura de 18,39% (PATERLINI et al., 2013), essa diferença pode ser devido à matéria-prima utilizada na literatura para comparação referir-se a espécie *Pennisetum purpureum*, conhecida como capim-elefante. Devido a falta de material bibliográfico, ocasionou dificuldade na discussão dos resultados.

Produção de briquetes

A Tabela 3 ilustra os resultados encontrados da produção de briquetes dos tratamentos de palha de cana-de-açúcar e braquiária.

Tabela 3: Análises encontradas para os briquetes de cada tratamento.

Tratamentos	Palha de cana (%)	Braquiária (%)	Expansão longitudinal total (%)	Friabilidade (%)	Força máxima (kgf)	Tensão máxima média (MPa)
T1	100	-	15,50a	35,60	38,05	0,24a
T2	75	25	12,34b	50,50	31,32	0,19b
T3	50	50	16,10a	38,80	27,35	0,17b

T4	25	75	15,40a	47,60	18,76	0,11c
T5	-	100	21,94c	48,90	20,75	0,12c

* As letras a, b e c na tabela representam a diferença significativa, em nível de 5%, segundo o teste de Tukey, dos resultados obtidos.

Os tratamentos apresentarem diferenças estatísticas em relação à expansão longitudinal, de acordo com a ANOVA, a um nível de 5% de significância. O teste de Tukey mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos T1, T3 e T4. O tratamento T5 foi o que sofreu a maior expansão longitudinal. O tratamento T2 foi o mais resistente, ou seja, apresentou a menor expansão longitudinal.

Estas diferenças podem ocorrer devido à natureza distinta das biomassas, onde foi possível observar comportamentos diferentes quanto à estabilidade dimensional dos briquetes, sendo o tratamento T2, que apresentou a melhor estabilidade.

A expansão longitudinal dos briquetes pode ser originada por distintos fatores, como pela higroscopidade das biomassas, pelo relaxamento natural inerente às suas fibras ou ainda por uma menor adesão entre as partículas compactadas.

Os briquetes com baixa friabilidade são considerados propícios, pois possuem resistência mecânica após a sua compactação e transporte, tornando-o mais viável. Neste trabalho, todos os tratamentos se mostram muito friáveis, isto é, acima de 30% (PESSOA-FILHO, 2013), apontando que são pouco duradouros com relação à abrasão, quedas e impactos. A qualidade das biomassas usadas, juntamente com as diferentes granulométricas utilizadas pode ter sido um fator que tenha prejudicado a friabilidade dos briquetes, necessitando de aglutinantes e temperatura após a compactação para obter melhores resultados.

Analizando a tensão máxima média deste estudo constatou-se que todos os tratamentos têm valores bem inferiores quando comparados com o valor de 0,97 MPa (PESSOA-FILHO, 2013) da palha de cana-de-açúcar, mostrando não serem resultados aceitáveis. A fragilidade dos briquetes confeccionados proporcionou uma ruptura transversal, atrapalhando assim no resultado dos ensaios.

Os resultados da ruptura transversal dos briquetes podem ser observados na Figura 2.



Figura 2: Ruptura transversal dos briquetes.

Os tratamentos submetidos ao ensaio mecânico foram estatisticamente diferentes a um nível de 5% de significância. Os briquetes produzidos com maiores quantidades de palha de cana-de-açúcar mostraram-se os mais resistentes, sendo o que apresentou maior tensão máxima média foi o tratamento T1 com 0,24 MPa, mostrando ser no mínimo duas vezes maior que os tratamentos com maior quantidade de braquiária (T4 e T5).

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que foi possível a formação de briquetes de todos os tratamentos aqui analisados, sendo estes provenientes de materiais das espécies *Brachiaria* sp. e *Saccharum officinarum*. Para uma escala comercial, existe a necessidade de melhoria na durabilidade e resistência dos briquetes produzidos.

As duas espécies apresentam como vantagem a disponibilidade do material. Fornecem propriedades físico-químicas (PCS, teor de voláteis e carbono fixo) compatíveis com espécies utilizadas comercialmente. Os materiais podem ser utilizados como biocombustível sólido.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **E870-82**, Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 248**, Agregados-Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 8740- Carvão Vegetal - Determinação do Índice de Quebra e Abrasão, Rio de Janeiro, 1985.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL DO MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - BEN, **ano base 2016** – Repartição da Oferta Interna de Energia, 2016.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; SOARES, V. W.; COSTA JÚNIOR, D. S.; FERREIRA, D. H. A. A; LELES, P. S. S. Potencial energético de sete materiais genéticos de *Eucalyptus* cultivados no Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 833-843, 2015.

FELFLI, F. F.; MESAP, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPPETTO, 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, 2011.

FLORES, W. P. et al. Caracterização de Briquetes de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. **Revista da Madeira**, 2010.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 657, 2009.

NAKASHIMA, G. T. **Use of sugarcane trash for solid biofuel production: physicochemical characterization and influence of storage time**. 2016. (Dissertação). Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-graduação em Planejamento e uso de recursos renováveis. Sorocaba. 2016.

NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Aproveitamento de Resíduos Vegetais para a Produção de Briquetes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. N° 34, 2014.

OLIVEIRA, J. B. Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. p. 59.

PADILLA, E. R. D.; PIRES, I. C. S. A.; YAMAJY, F. M.; FANDIÑO, J. M. M. Produção e Caracterização Físico-Mecânica de Briquetes de Fibra de Coco e Palha de Cana-de-Açúcar. **Revista Virtual Química**, v. 8, n. 5, p. 1334-1346, 2016.

PATERLINI, E. M.; ARANTES, M. D. C.; GONÇALVES, F. G.; VIDAUURRE, G. B.; BAUER, M. de. O.; MOULIN, J. C. Evaluation of elephant grass for energy use. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 119, May. 2013.

PESSOA-FILHO, J. S. **Análise térmica e energética de briquetes de capim braquiária**. Dissertação (Mestrado em Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos) – UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

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, 2012.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 173, 2004.

RICHARDSON, J.; BJÖRHEDEN, R.; HAKKILA, P.; LOWE, A .T.; SMITH, C.T. Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practice. **Forestry Sciences**, v. 32, n. 3, p. 397, 2002.

SANTOS, L. R. O. **Análise da eficiência energética das biomassas utilizadas em fornos cerâmicos na região de Tatuí-SP**. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

SANTOS, M. M.; FRANCO, T. T.; BERNI, M. D. Caracterização físico-química da palha de cana de açúcar: uma revisão de literatura. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica – Unicamp, **Anais...** Universidade de Campinas, Campinas, 2015.

SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos**. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e Planejamento Energético) - UNICAMP, Campinas, 2007.

SILVA, D. A. de. et al. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 713, out. / dez. 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI T204 om-97** – Tappi Test Methods, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI T207 om-99** – Tappi Test Methods, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI T222 om-02** – Tappi Test Methods, 2006.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 11, 2013.