Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

DENSIFICAÇÃO DE BIOMASSA: PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DA PODA DE GRAMA

BIOMASS DENSIFICATION: BRIQUETTES PRODUCTION FROM GRASS TRIMMING

DENSIFICACIÓN DE BIOMASA: PRODUCCIÓN DE BRIQUETE A PARTIR DE PODA DE GRAMO

Marcos Paulo Patta Granado[1]
Gabriel Granado Rossi[2]
Andrea Cressoni De Conti[3]

Resumo: Buscando utilizar fontes renováveis e de baixa emissão de poluentes, o uso de resíduos como a poda de grama tem como objetivo reaproveitar um material que usualmente é descartado. Para um melhor aproveitamento energético da poda realizou-se a densificação energética da biomassa, assim, o material ocupa um menor volume facilitando o transporte e armazenagem, como também se aumenta a energia por volume. A briquetagem reduziu o volume do material em 10 vezes, com uma expansão do briquete de 25,5% de seu volume logo após a confecção, as características químicas e físicas do material briquetado permite seu uso como combustível sólido.
Palavras-chave: Bioenergia. Biocombustível. Resíduo sólido urbano. Caracterização de biomassa. Análise química imediata.

Abstract: Searching for renewable and low pollutant emissions energy sources, use waste as grass trimming has focus in reusing a material that it is usually scrapped. For better trimming grass energy exploitation was performed the energy densification, thus, the material has a smaller volume promoting transportation and storage and increasing the energy density. Briquetting reduced by 10 times the volume, with 25.5% of expansion from your initial volume, the briquette chemical and physical characteristics energy allows your using as a solid fuel.
Keywords: Bioenergy. Biofuel. Urban solid waste. Biomass characterization. Proximate analysis.

Resumen: Buscando utilizar fuentes renovables y de baja emisión de contaminantes, el uso de residuos como la poda de gramo tiene como objetivo reaprovechar un material que usualmente es descartado. Para un mejor aprovechamiento energético de la poda se realizó la densificación energética de la biomasa, así, el material ocupa un menor volumen facilitando el transporte y almacenamiento, como también se aumenta la energía por volumen. El bricolaje redujo el volumen del material en 10 veces, con una expansión del briquete del 25,5% de su volumen luego de la confección, las características químicas y físicas del material briquetado permite su uso como combustible sólido.
Palabras clave: Bioenergía. Biocombustible. Residuos sólidos urbanos.Caracterización de la biomasa. Análisis químico inmediato.

Envio 31/07/2018 **Aceite 30/10/2018**

[1] Graduando. Unesp – Campus Experimental de Rosana. E-mail: marcos_granado@outlook.com
[2] Graduando. Unesp – Campus Experimental de Rosana. E-mail: gabrielgranadorossi@hotmail.com
[3] Professora Doutora. Unesp – Campus Experimental de Rosana. E-mail: andrea.cressoni@unesp.br

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

Introdução

A biomassa no decorrer dos últimos anos, tem evoluído bastante em representatividade na matriz energética nacional. O aproveitamento desta fonte renovável de energia atrai grandes interesses pela possibilidade de satisfazer a demanda energética de maneira sustentável, reduzindo os impactos ambientais e possibilitando a geração de empregos, além de dinamizar economias regionais (Nogueira; Lora, 2003). A obtenção direta de combustíveis a partir de fontes renováveis só é possível através da biomassa, enquanto as outras fontes fornecem como produto apenas a eletricidade (Silva et al., 2003).

Entre os recursos disponíveis da biomassa, os resíduos apresentam grande potencial para geração de energia e são classificados como: florestais, agrícolas, animais, industriais e urbanos (Cortez, L. et al., 2008). Contudo, estes resíduos ainda possuem baixo aproveitamento energético, resultante das dificuldades em seu uso, no qual estão relacionadas as características que encarecem e dificultam sua queima, transporte e armazenamento, como: baixa densidade, baixo poder calorífico e alto teor de umidade (Felfli et al., 2011; Hasted et al., 2016). Visto isto, percebe-se, a necessidade de realizar a melhoria destas propriedades para aumentar a qualidade energética da biomassa e torná-la mais atrativa economicamente.

Dentre as tecnologias existentes para tratamento da biomassa, uma solução alternativa para acabar com estes problemas é realizar a densificação dos resíduos na forma de briquetes e/ou peletes, no qual se compacta o material aplicando uma força mecânica para formar um produto sólido de tamanho uniforme (Avelar, 2015; Chen et al., 2015; Moreno et al., 2016). A principal diferença entre os briquetes e pellets está no tamanho, no qual os pellets possuem diâmetro que pode variar entre 6 e 16mm, enquanto os briquetes possuem diâmetro superior a 50mm (Dias et al., 2012). Quando comparado com a biomassa sem compactar, a densificação promove principalmente o aumento na densidade energética, oferecendo vantagens em seu transporte e armazenamento, além de facilitar a alimentação do combustível em equipamentos de conversão térmica (Muazu; Stegemann, 2017).

A resistência e durabilidade dos briquetes dependem de fatores que promovem a ligação entre as partículas do material. A temperatura durante a compactação, influência na ativação dos ligantes naturais da biomassa, onde em temperaturas elevadas ocorre a deformação das partículas e com isso estabelecem uma ligação permanente entre si (Kaliyan;

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

Morey, 2008). Em altas pressões, os ligantes naturais, tais como amido, proteína, lignina e pectina da biomassa são extraídos das células vegetais, contribuindo assim para a interligação e coesão das partículas (DIAS, et. al., 2013). Briquetes produzidos com pressão de compactação e tempo de prensagem diferentes apresentam diferenças significativas em sua densidade (Li e Liu, 2000). Uma boa adesão entre as partículas é indicada por briquetes que mantém seu volume estável, sem expandir-se após a produção (Chrisostomo, 2011).

As dimensões geométricas do equipamento de briquetagem afetam na quantidade de material que pode ser utilizado para densificação. Além disso, a geometria influência diretamente na pressão de compactação necessária para produzir os briquete, e na resistência e durabilidade final do produto (Tumuluru et al.; 2011).

Além disso, propriedades do material também influenciam diretamente na densificação da biomassa, sendo estas: O teor de umidade, que favorece os mecanismos de ligação entre as partículas, porém quando em excesso pode provocar deformações nos briquete; A dimensão das partículas, que influencia diretamente na densidade final dos briquetes; A composição da biomassa, que influencia na quantidade de ligantes naturais presentes que favorecem a ligação entre as partículas do material, sendo os principais: a lignina, a proteína, o amido, as gorduras e os carboidratos solúveis; E por fim o uso de aglutinantes, que se justifica pela falta de ligantes naturais presentes no material para os processos de briquetagem (Dias et al., 2012).

Além do potencial energético, o uso da biomassa residual pode ser também uma saída oportuna para solucionar problemas de caráter ambiental. Resíduos sólidos urbanos oferecem risco potencial ao ambiente, promovendo preocupações com órgãos de saúde e ambientais para sua destinação adequada através de: reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (Soares, 2011). No Brasil, a maioria dos resíduos gerados atualmente são dispostos em aterros sanitários, com práticas de geração e gerenciamento pouco desenvolvidas (Welfle, 2017). Promover uma gestão adequada para estes resíduos pode promover a utilização de uma energia subaproveitada de maneira sustentável.

Os resíduos urbanos de áreas verdes são compostos basicamente por podas de grama e folhas de árvores. Estes resíduos são considerados biomassa lignocelulósica e quando

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

utilizados de maneira correta, podem colaborar para substituir a lenha de desmatamento na geração de energia. (Cortez, C., 2011; Gomes, 2014; Silva, J., 2011).

Para utilizar uma biomassa como combustível é indispensável uma caracterização de suas propriedades físicas e químicas que influenciam diretamente no poder energético do material, sendo as principais: composição química elementar e imediata, poder calorífico, granulometria e densidade. A composição química imediata representa o conteúdo percentual mássico de materiais voláteis, de carbono fixo, de cinzas e de umidade presentes na biomassa. Os materiais voláteis representam a facilidade de queima da biomassa e determina a fração mássica do combustível que se volatiza durante o aquecimento, enquanto o carbono fixo ou coque representa a quantidade de carbono presente no material após perder seu conteúdo volátil desconsiderando as cinzas (Brand, 2010).

Considerando a oportunidade de aproveitamento dos resíduos da poda de grama para uso energético, neste trabalho realiza-se a densificação da poda de grama na forma de briquetes para promover seu uso final como combustível sólido. O trabalho envolve a realização de processos de tratamento da biomassa e sua caracterização química. Além disso, analisou-se a expansão volumétrica dos briquetes, com o intuito de verificar a qualidade do produto compactado e o aumento obtido na densidade do material.

Materiais e Método

Coleta do material

Para a produção dos briquetes, incialmente foram coletados os resíduos de grama descartados em diferentes locais da cidade de Rosana-SP. O material foi exposto a radiação solar para promover processo de secagem natural da biomassa. Além disso, por possuir partículas com tamanho elevado, houve a necessidade de realizar a moagem do resíduo coletado.

Caracterização do material

Após a coleta e preparo do material, foi realizado a caracterização do resíduo através de ensaio de densidade a granel e análise química imediata. Para determinar a densidade, utilizou-se uma balança semi-analítica (marte AD500) e uma proveta de 200ml, no qual

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

mediu-se a massa de amostra do material correspondente a um determinado volume, obtendo o valor da densidade através da Eq. (1):

$$D_G = \frac{m_A}{V_A} \quad (1)$$

onde:

$\boldsymbol{D_G}$ é a densidade a granel (g/cm³);

$\boldsymbol{m_A}$ é a massa da amostra (g);

$\boldsymbol{V_A}$ é o volume da amostra correspondente na proveta (cm³).

Na análise química imediata foi determinado o teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, utilizando como base a norma NBR 8112 OUT/1996. Todas as análises foram realizadas em triplicatas. O teor de umidade do material foi determinado através de um analisador de umidade SHIMADZU MOC63u.

Para determinar o teor de voláteis foi utilizado o material isento de umidade. O processo foi realizado utilizando aproximadamente 1,000 g de amostra do material adicionado em cadinho de porcelana com tampa. O cadinho foi inserido em uma mufla elétrica aquecida em 900 ± 10°C, permanecendo durante tempo de 7 minutos.

Ao atingir o tempo necessário, o cadinho foi retirado da mufla e inserido em dissecador com sílica para esfriar. Após isso foi medido a massa do cadinho e determinado o teor de voláteis através da Eq. (2).

$$\%TV = \frac{m_1 - m_2}{m_a} * 100 \quad (2)$$

onde:

$\%TV$ é o teor de volátil do material (%);

m_a é a massa da amostra (g);

m_1 é a massa inicial do cadinho com tampa mais a amostra (g);

m_2 é a massa final do cadinho com tampa mais a amostra (g).

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

A determinação do teor de cinzas foi realizada utilizando os mesmos cadinhos com amostras resultantes do teste de teor de voláteis. Estes cadinhos, agora sem a tampa, foram inseridos na mufla elétrica aquecida em 700±10°C, permanecendo por um período de 6 horas. Após este período retirou-se os cadinhos da mufla e os inseriu em dissecador com sílica para esfriamento. Mediu-se sua massa final e determinou o teor de cinzas através da Eq. (3).

$$\%TC = \frac{m_3 - m_0}{m_a} * 100 \quad (3)$$

onde:

$\%TC$ é o teor de cinzas do material (%);

m_0 é a massa inicial do cadinho sem tampa (g);

m_3 é a massa final do cadinho sem tampa mais o resíduo (g).

Por fim, o teor de carbono fixo foi calculado através dos dados obtidos nas análises de TV e TC, no qual seu valor é determinado conforme a Eq. (4):

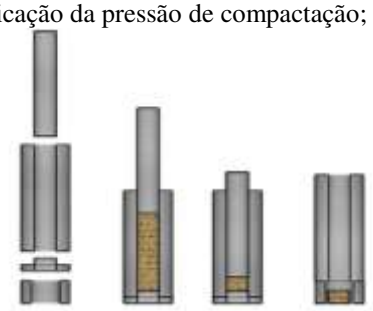
$$\%CF = 100 - (TV + TC) \quad (4)$$

Produção dos briquetes

A produção dos briquetes foi realizada através de uma prensa hidráulica com capacidade de 30t (MARCON-MPH30), e com auxílio de molde cilíndrico de aço inoxidável, com 16cm de altura e 3,5cm de diâmetro interno (Figura 1). A densificação ocorreu utilizando aproximadamente 20g de material inserido no molde cilindro, no qual se aplicou uma pressão de compactação equivalente a 1040 kgf/cm² durante um período de um minuto.

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

Figura 1. Esquema do processo de produção dos briquetes. (a) molde cilíndrico; (b) início do processo de densificação; (c) aplicação da pressão de compactação; (d) final do processo.



(a) (b) (c) (d)

Fonte: Elaborado pelos autores.

No total foram produzidos seis amostrar de briquetes, no qual foram armazenados em sacos plásticos após sua produção, evitando ganho de umidade do ambiente.

Após a produção dos briquetes, realizou-se análise da expansão volumetria, determinada através de medidas do volume das amostras durante um período de 72 horas. A primeira medida foi realizada logo após a produção, seguindo a sequência de 1, 3, 5, 7, 24, 48 e finalmente 72 horas. Para medir o volume médio dos briquetes, foi utilizado um paquímetro digital para obter os valores de suas dimensões de altura e diâmetro, já que o formato destes é cilíndrico, obtendo seu volume através da Eq. (5).

$$V_B = \pi \left(\frac{\bar{D}^2}{2} \right) \bar{h} \qquad (5)$$

onde:

$\boldsymbol{V_B}$ é o diâmetro médio dos briquetes (mm³);

$\boldsymbol{\bar{D}}$ é o diâmetro médio dos briquetes (mm);

$\boldsymbol{\bar{h}}$ é a altura média dos briquetes (mm).

Após realizar todas as medidas de volume dos briquetes, foi então calculado sua densidade aparente média após 72 horas de produção através da Eq. (6).

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

$$D_A = \frac{\bar{m}_B}{V_B} \quad (6)$$

onde:

$\boldsymbol{D_A}$ é a densidade média dos briquetes (g/cm³);

$\boldsymbol{\bar{m}_b}$ é a massa média dos briquetes (g);

$\boldsymbol{V_b}$ é o volume médio dos briquetes (cm³).

Análise Estatística

Para todas as medias calculou-se o desvio padrão amostral através da Eq. (7).

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7)$$

onde:

$\boldsymbol{n}$ é o número de amostras;

$\boldsymbol{x_i}$ é o valor da i-ésima amostra;

$\boldsymbol{\bar{x}}$ é o valor médio das amostras.

Para medidas indiretas, neste caso o volume e a densidade, calculou-se a propagação do erro através da Eq. (8).

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial a} * \sigma_a\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial b} * \sigma_b\right)^2} \quad (8)$$

onde y é a grandeza de medida indireta dependente das variáveis a e b, σ_a é o desvio de a e σ_b é o desvio de b.

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

Resultados e Discussão

Apresenta-se o resíduo da poda de grama antes e após realizar os processos de moagem e densificação na Figura 2. De início já é possível perceber o aumento da densidade dos materiais após realizar os processos anteriormente descritos.

Figura 2. Resíduo da poda de grama. (a) in natura; (b) após processo de moagem; (c) após processo de densificação.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados obtidos nas análises de caracterização da poda de grama são apresentados e comparados com dados da literatura na Tabela 1. Os dados utilizados para comparação foram obtidos por Chrisostomo (2011), para o bagaço de cana-de-açúcar e para a serragem de pinus, no qual também se realizou o estudo para produção de briquetes destes materiais.

Ao comparar estes dados, percebe-se que a poda de grama possui alto valor de voláteis, baixo de carbono fixo, e uma quantidade considerável de cinzas. Tomando como base o bagaço de cana-de-açúcar que é uma biomassa utilizada para co-geração de energia, pode-se considerar uma possibilidade de utilizar a poda de grama na geração de calor, no qual possui menor valor de cinzas e uma pequena diferença entre voláteis e carbono fixo, quando comparada com o bagaço.

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

Tabela 1. Análise química imediata e densidade a granel.

Material	Umidade (%) b.u.	Densidade (kg/m³) b.u.	Voláteis (%) b.s.	Cinzas (%) b.s.	Carbono fixo (%) b.s.	Referência
Poda de grama	10,8	68,5	83,83	6,81	9,36	Neste trabalho
Bagaço de cana	-	-	75,86	8,62	15,52	Chrisostomo (2011)
Serragem de pinus	-	-	82,76	0,45	16,79	Chrisostomo (2011)

b.u. – valores obtidos em base úmida.
b.s. – valores obtidos em base seca.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos na análise de expansão dos briquetes são apresentados na Tabela 2. Após o período de 72 horas de produção, os briquetes tiveram uma expansão média de 25,5% do seu volume inicial.

Tabela 2. Medidas da expansão volumétrica dos briquetes.

Tempo de medida	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Volume (cm³)
Inicial	22,5 ± 0,3	36,2 ± 0,1	23,1 ± 0,4
1	24,4 ± 0,4	36,20 ± 0,03	25,1 ± 0,5
3	24,9 ± 0,7	36,21 ± 0,03	25,6 ± 0,7
5	25,4 ± 0,6	36,25 ± 0,03	26,2 ± 0,7
7	25,6 ± 0,6	36,4 ± 0,1	26,6 ± 0,7
24	26,3 ± 0,5	36,54 ± 0,2	27,6 ± 0,6
48	27,0 ± 0,7	36,69 ± 0,2	28,6 ± 0,8
72	27,2 ± 0,7	36,82 ± 0,2	29,0 ± 0,9

Fonte: Elaborado pelos autores.

Crisostomo (2011), em sua análise de briquetes produzidos a parte de bagaço de cana e serragem de pinus, obteve uma expansão longitudinal média de 9,61% e 10,76% respectivamente. Ao comparar os dados, percebe-se que os briquetes de poda de grama não tiveram uma adesão muito boa de suas partículas.

Entretanto, neste trabalho utilizou-se pressão de compactação menor que a utilizada por Chrisostomo (2011), no qual influência diretamente da extração dos ligantes naturais da biomassa, o qual promovem melhor ligação entre as partículas. Além disso, as biomassas

utilizadas pelo autor possuíam granulometria menor, no qual resulta em briquetes com maior densidade.

Tabela 3. Densidade da poda de grama antes e após processo de densificação.

Material	Massa (g)	Volume (cm^3)	Densidade (g/cm^3)	Densidade (kg/m^3)
Poda de grama	12,3 ± 0,8	180 ± 1	0,0685 ± 0,006	68,5 ± 0,6
Briquetes	19,85 ± 0,03	29,0 ± 0,9	0,69 ± 0,02	690 ± 20

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os dados de densidade, verifica-se que o processo de densificação da poda de grama promoveu um aumento de aproximadamente 10 vezes no valor da densidade inicial. Este aumento possibilita uma enorme vantagem em questões de armazenamento e transporte da biomassa, facilitando seu aproveitamento e reduzindo custos presentes nestes setores.

Portanto, considera-se uma boa alternativa realizar o processo de densificação no resíduo da poda de grama para uso energético. Para melhorar a ligação entre as partículas do material compactado, pode-se utilizar maiores pressões de compactação, além do uso de temperatura e aglutinantes no processo.

Conclusão

Como desfecho deste trabalho, com o intuito de melhora na qualidade da biomassa utilizada foi realizada a densificação energética, permitindo um aumento da densidade do material em dez vezes, consequentemente aumentou-se a eficiência em armazenagem e transporte do resíduo densificado que passa ocupar menor espaço físico, assim como houve também a melhora no uso como combustível que produz uma maior quantidade de calor quando comparado ao mesmo volume do material in natura.

Para caracterização do material como combustível foi necessário realizar a análise química a fim de se obter os teores de umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas. O teor de umidade do material em 10,8% de sua massa total apresenta resultados significativos, sabendo-se que a eficiência na queima e a umidade são inversamente proporcionais. Para os teores de voláteis, carbono fixo e cinzas, com 83,83%, 9,36% e 6,81% da sua massa seca, respectivamente, apresentou-se um material com características favoráveis ao aproveitamento

Revista Hipótese
ISSN: 2446-7154

térmico, a semelhança entre as características da poda de grama e do bagaço de cana-de-açúcar - biocombustível sólido largamente utilizado em plantas de geração de açúcar e álcool, responsável pelo fornecimento de eletricidade e calor para as operações da planta e em muitos casos para a venda da eletricidade - fornece bons parâmetros quando se aplica o aproveitamento energético da poda de grama considerando ainda um incremento em seu desempenho dado o aumento da sua densidade energética após a briquetagem.

Após a densificação da biomassa avaliou-se este processo medindo a expansão volumétrica do briquete, depois de 72 horas de sua confecção nota-se que houve a estabilização em relação a expansão do briquete, com um aumento de 25,5% do volume em comparação ao volume inicial do briquete, este valor apresentado está superior aos briquetes de bagaço de cana-de-açúcar e de serragem de pinus, que apresentam expansão de aproximadamente 10% utilizados na comparação, a diferença possivelmente se dá pela influência do tempo de prensagem e da pressão utilizada, cabendo tal confirmação a futuros trabalhos.

Por fim, a densificação energética da poda de grama aparece como uma alternativa a utilização deste resíduo para fins térmicos e/ou termoelétricos, dadas suas características químicas favoráveis e suas novas características físicas após a briquetagem, permitiu-se melhor armazenamento e transporte deste possível combustível solido.

Referências

ABNT. NBR 8112 – Carvão vegetal – Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.

AVELAR, N. V. et al. Evaluation of briquettes made from textile industry solid waste. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 9, n.1, p. 417–424, 2016.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. (T. C. Alves, & M. P. Ribeiro, Eds.) Rio de Janeiro: Interciência, 2010

CHEN, W. H.; PENG, J.; BI, X. T. A state-of-the-art review of biomass torrefaction, densification and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 847–866, 2015.

CHRISOSTOMO, W**. Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba-SP, 2014.

CORTEZ, **Cristiane Lima. Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para geração de energia: Estudo de caso: AES ELETROPAULO**. 2011. 246 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CORTEZ, L. A.; LORA, E. E.; GÓMEZ, E. E. **Biomassa para energia**. Campinas-SP: UNICAMP, 2008.

DIAS, J. M. C. D. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Embrapa Agroenergia. Brasília-DF, p. 119. 2012.

FELFLI, F. F. et al. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 236–242, 2011.

GOMES, J. N. C.. **Potencial de produção de energia a partir da biometanização de resíduos orgânicos do câmpus pampulha da UFMG**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

HANSTED, A. L. S. et al. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production**. Fuel**, [s. l.], v. 184, n. 0016-2361, p. 180–184, 2016.

LI, Y.; LIU, H. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 177–186, 2000.

MORENO, A. I.; FONT, R.; CONESA, J. A. Physical and chemical evaluation of furniture waste briquettes. **Waste Management**, [s. l.], v. 49, p. 245–252, 2016.

NOGUEIRA, L. A; LORA, E. E. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações** (2ª ed.). (V. Barros, Ed.) Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA, 2003.

SILVA, E. P. et al. Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. **MultiCiência**, [s. l.], v. 1, p. 1–22, 2003.

SILVA, J. V. H. da et al. Diagnóstico do Reaproveitamento de Resíduos com Potencial Energético no Municipio de Palmas-TO. **Engenharia Ambiental**, Espirito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p.226-233, abr. 2011

SOARES, E. L. de S. F. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TUMURULU, J. S. A review of biomass densifi cation systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels Bioproducts & Biorefining**, [s. l.], v. 5, p. 683-707, 2011.

WELFLE, A. Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 105, p. 83–95, 2017.