



Caracterização do resíduo de MDF e seu aproveitamento na produção de pellets

Thammi Queuri Gomes da CUNHA^{1*}, Pedro Vilela Gondim BARBOSA¹, Pedro Augusto Fonseca LIMA¹, Thalles Santiago PIMENTEL¹, Lucas Lemes de Souza PEIXOTO¹, Carlos Roberto SETTE JÚNIOR¹

¹ Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
*E-mail: thammiqueuri08@gmail.com

Recebido em maio/2017; Aceito em setembro/2017.

RESUMO: O processamento dos painéis de MDF, para a fabricação de móveis, gera uma grande quantidade de resíduos que constituem passivo ambiental, podendo ser utilizados para geração de energia. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características do resíduo de MDF e seu aproveitamento na produção de pellets, visando a aplicação energética. A caracterização energética do resíduo foi realizada por meio da química imediata (teores de cinzas, voláteis e carbono fixo) e do poder calorífico superior. Além disso, foram produzidos e avaliados pellets (características energéticas e físico-mecânicas). A avaliação das características do resíduo: poder calorífico superior ($4427,8 \text{ kcal.kg}^{-1}$) e química imediata (carbono fixo, materiais voláteis e cinzas foram 16,3; 82,3 e 1,4%, respectivamente) e dos pellets de MDF: densidade aparente ($1,15 \text{ g.cm}^{-3}$), a granel ($0,61 \text{ g.cm}^{-3}$), energética (2,6 a $5,5 \text{ Gcal.m}^{-3}$) e durabilidade (99,87%) indicaram a viabilidade técnica do aproveitamento do material como fonte energética. As características energéticas e físico-mecânicas dos pellets de MDF atenderam as especificações de qualidade exigidas nas normas internacionais de comercialização, exceto para o diâmetro médio.

Palavras-chave: materiais densificados, potencial energético, painéis.

Characterization of MDF residue and its use in pellet production

ABSTRACT: The processing of MDF panels, for the manufacture of furniture, generates a large amount of residues that constitutes an environmental liability, and can be used for power generation. The objective of this work was to evaluate the characteristics of the MDF residue and its use in the production of pellets, aiming at the energetic application. The energetic characterization of the residue was carried out by means of the proximate analysis (ash, volatile and fixed carbon contents), calorific value. In addition, pellets were produced and evaluated (energy and physico-mechanical characteristics). The evaluation of the characteristics of the residue: high heating value ($4427.8 \text{ kcal kg}^{-1}$) and proximate analysis (fixed carbon, volatile materials and ash were 16.3, 82.3 and 1.4%, respectively) and pellets: density (1.15 g cm^{-3}), bulk density (0.61 g cm^{-3}), energy density ($2.6\text{-}5.5 \text{ Gcal m}^{-3}$) and durability (99.87 %) indicated the technical feasibility of using the material as an energy source. The energy and physical-mechanical characteristics of MDF pellets met the quality specifications required by international marketing standards, except for the average diameter.

Keywords: densified materials, energetic potential, panels.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de painéis a base de madeira tem crescido em todo o mundo, principalmente, devido a intensa demanda por produtos de origem madeireira em substituição aos serrados. No *ranking* mundial, o Brasil é o oitavo maior fabricante de painéis de madeira, responsável pela produção de 7,5 milhões de metros cúbicos por ano, sendo 91% destinado ao atendimento do mercado interno, principalmente do setor moveleiro. O MDF (*Medium-Density Fiberboard*) é o principal produto brasileiro de painéis de madeira e sua participação no setor é de 4,4 milhões de metros cúbicos por ano (IBÁ, 2016).

O MDF é produzido por meio da aglutinação da fibra da madeira quando submetida a alta temperatura e pressão, adicionado adesivo sintético (PIEKARSKI et al., 2017), tendo características mecânicas semelhantes à madeira maciça, favorecendo a versatilidade do seu uso (VIDAL; HORA, 2014).

No entanto, é inerente a indústria de processamento da madeira e de produtos à base da madeira, a geração de

resíduos provenientes de suas atividades, os quais se caracterizam como passivos ambientais. Adicionalmente, os resíduos dos painéis apresentam o agravante de possuir em sua composição uréia-formaldeído, tanino-formaldeído ou melanina-uréia-formaldeído, os quais são constituintes mais utilizados nas resinas. Desse modo, ao propor formas de utilização desses resíduos deve-se avaliar o seu potencial e qualidade, bem como os possíveis danos ao meio ambiente (FARAGE et al., 2013).

A comunidade científica tem contribuído com algumas sugestões para recuperação, reutilização e reciclagem de resíduos de MDF como a produção de carvão ativado com finalidade adsorvente (GOMES et al., 2016); fabricação de painéis aglomerados (WEBER e IWAKRI, 2015); fabricação de compostos madeira-plástico ou termoplásticos em associação com pó de alumínio (CHAVOOSHI; MADHOUSHI, 2013); geração de gás, bio-óleo e carvão por meio da pirólise, explorados para fins energéticos e em biorrefinarias (FERREIRA et al., 2015) e outros.

Destaca-se ainda, o reaproveitamento energético dos resíduos de MDF a partir da fabricação de produtos densificados. Gouvêa (2012), ao avaliar a produção de briquetes a partir de resíduos de painéis, verificou propriedades físicas e energéticas satisfatórias. Forage et al. (2013), ressaltam a vantagem da produção de briquetes como opção de reaproveitamento dos resíduos de MDF, devido a maior densidade do produto. A biomassa residual densificada promove a redução do volume da biomassa *in natura*, facilitando o transporte, tornando-o menos oneroso, além de otimizar o manuseio do produto final, podendo se constituir em fonte de receita adicional para a indústria (SANTOS et al., 2013).

A possibilidade de produzir materiais densificados a partir de resíduos de MDF possui perspectiva de aplicabilidade, uma vez que estes materiais possuem características vantajosas que têm motivado estudos de viabilidade e utilização em todo o mundo (WEBER; IWAKRI, 2015). Os pellets são mais preferíveis às outras formas de biomassa, como cavacos, pois apresentam melhor característica de densidade e uniformidade granulométrica (ARRANZ et al., 2015). Além disso, tem-se obtido pellets com características energéticas satisfatórias de diversas fontes de biomassa como madeira residual de *Pinus* (PROTÁSIO et al., 2015), capim-elefante (MAGALHÃES et al., 2016), bambu (SETTE JR et al., 2016), resíduos da cafeicultura (FARIA et al., 2016), dentre outros.

Neste contexto, a partir da crescente geração de resíduos provenientes do processamento de MDF em decorrência da alta demanda de produtos a base de madeira em substituição aos serrados, sugere-se a produção de pellets como alternativa para destinação do resíduo. Trata-se de uma alternativa que está em conformidade com a premissa de sustentabilidade ambiental e que apresenta valor econômico agregado, uma vez que a serragem representa custo e responsabilidade ambiental, bem como se caracteriza como biomassa lignocelulósica considerada fonte energética com grande potencial.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar as características energéticas e físico-mecânicas dos resíduos de MDF, bem como dos pellets produzidos a partir destes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Avaliação das características do resíduo.

Os resíduos do processamento dos painéis de MDF foram coletados, em um único momento, de uma indústria de móveis localizada na cidade de Goiânia/GO e transportados para o Laboratório e Qualidade da Madeira e Bioenergia da Universidade Federal de Goiás, LQMBio.

A análise química imediata baseou-se na norma ABNT NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1983), sendo determinados os teores de cinza, materiais voláteis e carbono fixo.

O poder calorífico superior foi determinado por meio de uma bomba calorimétrica, conforme a norma ABNT NBR 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984).

2.2 Produção e avaliação dos pellets

Os pellets foram produzidos utilizando-se uma peletizadora de laboratório, constituída de uma parte inferior provida de uma matriz com forma circular e de uma superior

com dois rolos com movimentos rotacionais, em torno do seu eixo e em volta da matriz. A parte inferior da matriz possui ainda uma lâmina que corta os pellets em tamanho padronizado. Para o processo de produção de pellets, o teor de umidade do resíduo de MDF foi ajustado a 20%, conforme recomendado pelo fabricante do equipamento, para qualquer tipo de biomassa.

Para determinação das dimensões médias, teor de umidade, densidade aparente, a granel e energética e durabilidade foram selecionados trinta pellets aleatoriamente, sendo agrupados em 5 repetições, com 6 pellets cada repetição.

O comprimento e o diâmetro foram medidos utilizando um paquímetro digital e a massa obtida com balança de precisão.

O teor de umidade de cada pellet foi obtido de acordo com a norma ABNT NBR 14929 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003) (Equação 1) e a densidade aparente de acordo com a Equação 2.

$$U\% = [(M_i - M_f) / M_f] * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

em que: U% = teor de umidade (%); M_i= Massa inicial, em gramas (g); M_f= Massa final, em gramas (g).

$$d_{ap} = M_i / V \quad (\text{Equação 2})$$

em que: d_{ap} = densidade aparente, em gramas por centímetro cúbico (g.cm⁻³); M_i= massa inicial, em gramas (g); V= volume, em centímetros cúbicos (cm³).

A densidade à granel dos pellets foi calculada pela razão entre a massa de pellet e o volume de um recipiente (Equação 3).

$$d_{granel} = m_p / V_r \quad (\text{Equação 3})$$

em que: d_{granel} = densidade à granel, em gramas por centímetro cúbico (g.cm⁻³); m_p= massa do pellet, em gramas (g); V_r= volume do recipiente, em centímetros cúbicos (cm³).

A durabilidade dos pellets foi determinada por perda de massa das amostras, conforme descrito por Toscano et al. (2013) e Liu et al. (2014) (Equação 4). Os pellets foram pesados para a obtenção da massa inicial e colocados em uma peneira vibratória, permanecendo por 10 minutos, a 80 rotações por minutos. Após este procedimento, os pellets foram novamente pesados e obtido a massa final.

$$Pd = 100 - [(m_i - m_f) / m_i] * 100\% \quad (\text{Equação 4})$$

em que: Pd = durabilidade (%); m_i = massa inicial, em gramas (g); m_f= massa final, em gramas (g).

A densidade energética dos pellets foi calculada multiplicando-se o poder calorífico superior do resíduo pela densidade aparente dos pellets.

2.3 Análise estatística

Na análise estatística dos resultados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo aferidos os

outliers e a distribuição dos dados. Para todas as variáveis, foram obtidas as médias e calculado o desvio padrão.

3. RESULTADOS

Os resultados da análise da química imediata do resíduo de MDF estão apresentados na Figura 1. Os valores médios de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas foram 16,3; 82,3 e 1,4%, respectivamente, com poder calorífico superior de 4427,8 kcal.kg⁻¹.

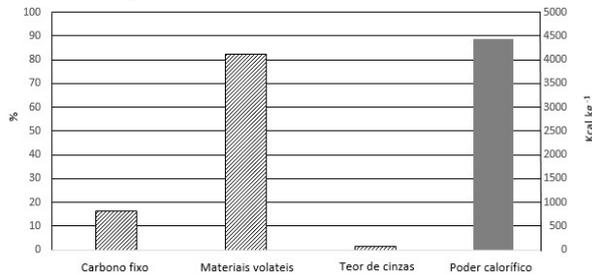


Figura 1. Química imediata e poder calorífico superior dos resíduos de MDF.

Figure 1. Proximate analysis and high heating value of the MDF residues.

As dimensões e o teor de umidade médio dos pellets dos resíduos de MDF, para cada repetição, estão apresentados na Tabela 1 e as densidades e durabilidade na Tabela 2.

Tabela 1. Dimensões e teor de umidade dos pellets de resíduos de MDF.

Table 1. Dimension and moisture content of the MDF pellets.

Repetição	Diâmetro Comprimento		Teor de umidade
	----- mm -----		
1	11,27	9,72	9,38
2	10,82	9,79	10,46
3	10,67	9,70	10,21
4	10,81	9,74	10,36
5	10,92	9,70	10,30
Média	10,90	9,73	10,14
Desvio padrão	0,23	0,04	0,44

Tabela 2. Densidade a granel e energética dos pellets de resíduos de MDF.

Table 2. Bulk and energetic density of the MDF waste pellets.

Repetição	D _{ap} D		DE		Durabilidade
	pellet	granel	pellet	granel	
1	1,20	0,60	5,31	2,66	99,85
2	1,11	0,61	4,92	2,68	99,89
3	1,14	0,60	5,04	2,67	99,87
4	1,06	0,59	4,68	2,60	99,87
5	1,24	0,62	5,49	2,74	99,86
Média	1,15	0,61	5,09	2,67	99,87
Desvio padrão	0,07	0,01	0,32	0,05	0,02

D_{ap} = Densidade aparente; D = Densidade; DE = Densidade energética.

4. DISCUSSÃO

Os valores médios dos teores de carbono fixo e materiais voláteis (Figura 1), foram semelhantes aos encontrados por Gouvêa (2012) para resíduos de painéis MDP e MDF, os quais apresentaram valores de 16,5 e 82,8%, respectivamente.

O teor de cinzas médio encontrado neste estudo (Figura 1) está acima do valor observado por Farage et al. (2013) de 0,7%, ao avaliar, dentre outros, resíduos de MDF provenientes de fábricas de móveis. Esta diferença pode estar

associada às impurezas, como resinas e abrasivos da lixa, e a constituição química dos resíduos de MDF deste trabalho. Altos teores de cinzas reduzem o poder calorífico, ou seja, a necessidade de energia que os compostos inorgânicos formadores de cinzas precisam para degradação térmica e transição de fase é retirada da energia de combustão da biomassa (OZYUGURAN; YAMAN, 2017).

Além disso, a abrasividade das cinzas pode causar corrosão nos elementos metálicos dos fornos, provocando danos e gastos com manutenção dos equipamentos (SANTOS et al., 2013). Outra questão associada com o alto teor de cinzas é o gasto com o tratamento e disposição dos resíduos, pois na composição da biomassa pode haver elementos tóxicos que estejam fora dos limites estabelecidos pela legislação ambiental para resíduos não perigosos (FARAGE et al., 2013).

O poder calorífico superior dos resíduos de MDF (Figura 1) está de acordo com os apresentados em outros trabalhos: 4522 kcal.kg⁻¹ para resíduos de painéis, incluindo MDF e MDP, (GOUVÊA, 2012) e 4445,5 kcal.kg⁻¹ (GUNTHER et al., 2012) para o MDF.

Os dados da biomassa de *Eucalyptus grandis x urophylla*, espécie amplamente utilizada como biomassa para fins energéticos, de carbono fixo (17,5%), materiais voláteis (82,2%), teor de cinzas (0,3%) e poder calorífico (4657,6 kcal.kg⁻¹) apresentados por SETTE JR. et al. (2016) foram semelhantes aos obtidos neste trabalho. Embora Guther et al. (2012) tenham afirmado que as características energéticas de painéis de madeira sejam influenciadas pelo uso de adesivos, tal resultado não foi observado neste estudo, exceto para o conteúdo de cinzas presente em níveis mais altos no resíduo de MDF.

O Brasil não possui normas para a padronização de combustíveis sólidos. As normas de qualidade de pellets na Alemanha (DIN 51731, 1996), Suécia (SS 187120, 1998) e Áustria (ONORM M7135, 2000) exigem, para pellets produzidos de madeira, teores de cinza variando de 0,5-1,5% e poder calorífico de 4036,5 a 4299,23 kcal.kg⁻¹. Contudo, a norma Europeia prEN 14961-2 (HIEGL et al., 2009) exige para o teor de cinzas da biomassa de resíduo industrial com algum aditivo químico, como no caso do MDF, até 3,0%. Desta forma, as características dos resíduos de MDF avaliada indicam o atendimento às exigências dos padrões europeus de qualidade para produção de pellets.

Ao avaliar as dimensões dos pellets produzidos com resíduos de MDF (Tabela 1), verifica-se o enquadramento apenas à norma de qualidade austríaca (exigências de 1 até 10 mm). Todavia, esta variável pode ser controlada para atender as exigências do mercado consumidor por meio da substituição da matriz, diminuindo o seu diâmetro.

O teor de umidade médio encontrado (10,1%) está em conformidade com as normas de qualidade europeias, citadas anteriormente, sendo necessário teor menor que 12% para a mais rigorosa. A umidade interfere diretamente na capacidade de ignição da biomassa, bem como no poder calorífico útil, visto que durante a combustão parte da energia do combustível é desperdiçada na evaporação da água, diminuindo a energia disponibilizada, influenciando também na durabilidade do material densificado (QUIRINO et al., 2012; SANTOS et al., 2013).

A densidade aparente média dos pellets de resíduos de MDF foi de 1,15 g.cm⁻³ (Tabela 2), o qual se encontram próximos aos resultados encontrados por Gouvêa (2012) de

0,95 g.cm⁻³, para briquetes produzidos com resíduos de painéis de madeira. Indica-se ainda que os valores obtidos neste estudo estão de acordo com as especificações de qualidade para os pellets produzidos na Alemanha e Áustria, as quais exigem densidade entre 1,0 e 1,4 g.cm⁻³ e maior que 1,0 g.cm⁻³, respectivamente.

A densidade a granel dos pellets (Tabela 2) está em conformidade com as normas europeias da Alemanha, Suécia e Áustria, as quais exigem valores acima de 0,5 e 0,6 g.cm⁻³.

Ao comparar a densidade a granel dos pellets de resíduos de MDF produzidos neste trabalho, com pellets de outras biomassas, consolidadas pelo seu potencial energético, verifica-se semelhança com pellets de bambu com 12% de umidade, o qual apresentou densidade de 0,63 g.cm⁻³ (LIU et al., 2014), de maravalha de *Pinus* spp. que obteve média de 0,66 g.cm⁻³ com 7,9% de umidade (SPANHOL et al., 2015) e de madeira com casca de *E.grandis* x *E. urophylla* que apresentou 0,60 g.cm⁻³ a 7,0% de umidade (PEREIRA et al., 2016).

A densidade energética individual dos pellets (DE pellet) foi o dobro da densidade energética a granel (DE granel) (Tabela 2), em função das diferenças das densidades (aparente e granel). Gouvêa (2012), ao avaliar a densidade energética individual de briquetes de painéis encontrou resultado de 3,93 Gcal.m⁻³, inferior a média obtida neste trabalho. Esta variável é produto da densidade do material densificado e do poder calorífico, assim, quanto maior a densidade, mais energia por unidade de volume e consequentemente melhor o aproveitamento energético do material. Logo, a diferença energética de tais produtos foi decorrente da diferença verificada na densidade aparente dos materiais avaliados, uma vez que o poder calorífico foi semelhante.

Além disso, verificou-se proximidade dos valores de densidade energética dos pellets produzidos neste trabalho e pellets de eucalipto, os quais apresentaram 6,36 Gcal.m⁻³ (SETTE JR et al., 2016).

Para a característica de durabilidade, a porcentagem de finos obtido neste trabalho foi de 0,13%, atendendo as exigências das normas internacionais (DIN 51731, 1996; ONORM M7135, 2000; SS187120, 1998; prEN 14961-2, 2009) de no máximo 0,50%. O baixo teor de finos indica alta durabilidade, ou seja, pouca perda de massa, gerando menos acúmulo de pó durante o transporte e manuseio dos pellets, o que influencia na redução da insalubridade do ambiente de trabalho (LEHTIKANGAS, 2001). Além disso, a baixa durabilidade prejudica as características de um combustível homogêneo e densificado, podendo causar a quebra dos pellets e consequente perdas na cadeia de suprimento, resultando em prejuízos econômicos (LEHTIKANGAS, 2001).

5. CONCLUSÕES

Os resíduos, assim como os pellets de MDF, atenderam as especificações de qualidade exigidas nas normas internacionais de comercialização, exceto para o diâmetro médio. Os resultados indicam a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduos de MDF para o uso energético.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14929**. Madeira - Determinação do teor de

umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**. Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8633**. Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ARRANZ, J. I.; MIRANDA, M. T.; MONTERO, I.; SEPÚLVEDA, F. J.; ROJAS, C.V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. **Fuel**, v. 142, p. 199–207, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.10.059>

CARASCHI, J. C.; PINHEIRO, D. G.; VENTORIM, G. Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil. In: XII encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. **Anais...** Vitória, 2012.

CHAVOUSHI, A.; MADHOUSHI, M. Mechanical and physical properties of Aluminum powder/MDF dust/polypropylene composites. **construction and Building Materials**, v. 44, p. 214–220, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.079>

DIN 51731. **Testing of solid fuels** - compressed untreated wood, requirements and testing. Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung; 1996.

FARAGE, R. M. P.; REZENDE, A. A. P.; SILVA, C. M.; NUNES, W. G.; CARNEIRO, A. C. O.; VIEIRA, D. B.; RODRIGUES, C. L. S. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá – MG. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 203-212, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050988454>.

FARIA, W. S.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; ANDRADE, C. R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em Pellets para geração de energia térmica. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 137 - 147, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v11i1.1050>

FERREIRA, S. D.; ALTAFINI, C. R.; PERONDI, D.; GODINHO, M. Pyrolysis of Medium Density Fiberboard (MDF) wastes in a screw Reactor. **Energy Conversion and Management**, v. 92 p. 223–233, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.032>

GOMES, J. A. F. L.; AZARUJA, B. A.; MOURÃO, P. A. M. From MDF and PB wastes to adsorbents for the removal of pollutants. **Applied Surface Science**, v. 380, p. 119-126, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.02.038>

GOUVÊA, A. F. G. **Produção de briquetes a partir da adição da lignina Kraft com resíduo da indústria moveleira**. 2012. 111 p. Tese: (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GÜNTHER, B.; GEBAUER, K.; BARKOWSKI, R.; ROSENTHAL, M.; BUES, C-L. Calorific value of selected wood species and wood products. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 755–757, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-012-0613-z>

- HIEGL, W.; JANSSEN, R.; PICHLER, W. Development and promotion of a transparent European Pellets Market Creation of a European real-time Pellets Atlas: Advancement of pellets-related European standards. **Intelligent Energy Europe**. WIP Renewable Energies and Holzforchung Austria, 2009, 26p.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2016**. Brasília, DF: IBÁ. 2016,100 p.
- LIU, Z.J.; FEI, B. H.; JIANG, Z. H.; CAI, Z. Y. LIU, X. E. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. **Wood Science and Technology**, v. 48, p. 903–917, 2014. DOI: 10.1007/s00226-014-0648-x
- MAGALHÃES, M. A.; DONATO, D. B.; CANAL, W. D.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; VITAL, B. R. Caracterização de pellets produzidos a partir de capim-elefante para uso energético. **Ciência da Madeira**, v. 7, n. 3, p. 155-162, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.15210/cmadv7i3.6819>
- ÖNORM M 7135. Compressed wood or compressed bark in natural state—pellets and briquettes, requirements and test specifications. Vienna, Austria: **Österreichisches Normungsinstitut**; 2000.
- PIEKARSKI, C. M.; FRANCISCO, A. C.; LUZ, L. M.; KOVALESKI, J. L.; SILVA, D. A. L. Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 103–111, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.007>
- PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; SIQUEIRA, H. F.; MELO, I. C. N. A.; ANDRADE, C. R.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de *Pinus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.843>
- QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O.; SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.
- SANTOS, F.; COLDETTE, J.; QUEIROZ, J. H. Produção de pellets da madeira. In: **Bioenergia e biorrefinaria: cana-de-açúcar e espécies florestais**. Viçosa - MG, Brasil. 2013, 551p.
- SETTE JR, C. R.; FREITAS, P. C.; FREITAS, V. P.; YAMAJI, F. M.; AMEIDA, R. A. Production and characterization of bamboo pellets. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 4, p. 922-930, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v32n4a2016-32948>
- SS 187120. Biofuels and peat fuel pellets classification. Stockholm, Sweden: Swedish Standards Institution; 1998.
- TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCA, D. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. **Journal Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 317-322, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.012>
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial** 40. p. 323-384, 2014.
- WEBER, C.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509818460>