

**COMPARAÇÃO ENTRE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DA SERRAGEM DE *Astronium lecointei* Ducke (MUIRACATIARA) E *Apuleia leiocarpa* (VOGEL) J.F. (GARAPEIRA)****Bruna F. GONÇALVES¹, Fábio M. YAMAJI¹, Carolina G. V. AMIM¹, Gabriela T. NAKASHIMA¹****1 – Departamento de ciências ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, Brasil**

Resumo: Dentre o uso da biomassa para geração de energia, tem-se destacado no contexto mundial a produção de pellets e briquetes, os quais consistem na compactação da biomassa. O objetivo da pesquisa foi avaliar e comparar briquetes produzidos a partir da serragem residual de *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) e *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. (garapeira). As serragens utilizadas foram moídas e então se realizou a análise química imediata e a determinação do poder calorífico superior (PCS). Foram produzidos 15 briquetes (compactados sem aquecimento) com cada tipo de serragem, os quais foram submetidos aos testes de expansão em altura, resistência à compressão diametral e de tamboramento. A serragem de muiracatiara apresentou um PCS de 20.432 J/g e um teor de cinzas de 0,95%. Já a garapeira apresentou valor calórico superior de 19.492 J/g e 1,18% de cinzas. Os resultados obtidos pelos testes de resistência mecânica mostraram que os briquetes não tiveram adesão adequada para suportar um transporte. Por este motivo, os briquetes de ambas as serragens devem ser compactados com aquecimento.

Palavras-chave: combustão; compactação; adesão.

Abstract: Among the use of biomass for power generation, it has stood out worldwide the production of pellets and briquettes, which consists in the compression of a biomass. The goal of the research was to evaluate and compare briquettes produced from *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) and *Apuleia leiocarpa* (Vogel) JF (garapeira) residual sawdust. The material was milled and chemical analysis, as well as the high calorific power were held on the samples. It was produced 15 briquettes (compressed without heating) for each sawdust, and the expansion in high, the tensile strength by diametral compression and the “tamboramento” tests were held on the samples. Muiracatiara’s sawdust achieved a high calorific power of 20432 J/g and an ash content of 0.95%, while the Garapeira obtained 19492 J/g and 1.18%, respectively. The results obtained by resistance tests showed that the briquettes did not have adequate adhesion to withstand transport. For this reason, both sawdust briquettes must be compressed with heating.

Keywords: combustion; compression; accession; adhesion.



1. INTRODUÇÃO

As energias renováveis limpas são derivadas de fontes naturais manejadas de forma a garantir seu ciclo, como a de origem hídrica, solar, eólica, de ondas e marés, geotérmica e de biomassa.

Biocombustíveis são definidos como combustíveis derivados direta ou indiretamente de biomassa (CHRISOSTOMO, 2011). São consideradas biomassas para fins energéticos as culturas e descartes de lavouras, lixo doméstico, restos florestais, esterco de animais domésticos, esgotos urbanos, descartes lignocelulósicos, descartes madeireiras de indústrias e de uso doméstico, entre outros (GOLDEMBERG, 1998).

Dentre o uso dos compostos lignocelulósicos para geração de energia, tem-se destacado no contexto mundial a produção de pellets e briquetes, os quais consistem na compactação da biomassa. A compactação de descartes da madeira, em alguns casos, apresenta densidade, poder calorífico líquido e resistência mecânica superiores a da lenha, bem como umidade inferior. (BEZZON, 1994).

Além das espécies convencionais que mais geram resíduos florestais no Brasil, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, outras merecem destaque como a garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F.) e a muiracatiara (*Astronium lecointei* Ducke), as quais são utilizadas na construção civil, serraria, laminação, dentre outros (EMBRAPA, 2003; IPT, 2015).

A garapeira, também conhecida como grábia, é uma madeira densa (massa específica básica de $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$) e de fácil trabalhabilidade quando se utiliza ferramentas apropriadas devido a presença de sílica. A muiracatiara possui uma madeira muito durável, não sendo atacada por cupins ou insetos de madeira seca e é também considerada densa (massa específica básica de $0,81 \text{ g.cm}^{-3}$). (ITP, 2015).

Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi avaliar e comparar briquetes produzidos a partir da serragem residual de *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) e *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. (garapeira).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram a serragem *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara) e *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. (garapeira), coletadas em uma marcenaria da cidade de São Sebastião-SP.

2.1 Preparação do material

As serragens de muiracatiara e garapeira foram moídas, no moinho do tipo Willey MA-340, pois a granulometria do material não se encontrava ideal (maior que 20 mesh) para a briquetagem.

O material foi separado para que se fosse obtida sua classificação granulométrica por peneiras de 20 mesh (20 ABNT), 35 mesh (40 ABNT), 60 mesh (60 ABNT), 100 mesh (100 ABNT), e 200 mesh (200 ABNT) e coletor (fundo), com o auxílio do agitador orbital de peneiras.

2.2 Caracterização da matéria-prima

As densidades das serragens antes de serem moídas, foram obtidas preenchendo-se um béquer de 500 mL com serragem e medindo a massa contida no recipiente.



A umidade da serragem de ambos os tratamentos foi ajustada, esburrifando-se água destilada na serragem até sua massa chegar a massa calculado para 12% de umidade em base seca.

2.3 Análise imediata e poder calorífico

As análises foram feitas e triplicatas. O teor de umidade já ajustado foi obtido através de uma balança determinadora de umidade A&E Company, modelo MX – 50. Os teores de voláteis (TV) e cinzas (TC) foram obtidos de acordo com a norma ABNT NBR 8112/86, e o teor de carbono fixo foi obtido (CV) por diferença ($CV = 100 - (TV+TC)$). O poder calorífico superior foi obtido com o auxílio da bomba calorimétrica IKA C200, segundo a norma ASTM D2015-96 (Standart test method for gross calorific value and coke by the adiabatic calorimeter).

2.4 Confeção dos briquetes

Com a utilização de um molde de metal cilíndrico de 3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura, foram confeccionados 15 briquetes, com 20 g de serragem (com 12% de umidade) cada. O material foi compactado sem aquecimento com o auxílio de uma prensa Marcon MPH-15 à 12 ton, durante 30 segundos. Após a formação de cada briquete, mediu-se, com um paquímetro digital sua altura e diâmetro.

2.5 Caracterização dos briquetes

A densidade dos briquetes foi obtida medindo-se a altura e o diâmetro de cada briquete. Para se obter a expansão dos briquetes após a compactação, mediu-se a altura de cada briquete no momento de sua confecção, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 6 horas e 24 horas após sua confecção.

Após 14 dias da produção dos briquetes (os quais permaneceram isolados dentro de um saco plástico, a fim de que evitasse um aumento em sua umidade) realizou-se o Teste de Resistência a Tração por Compressão Diametral adaptado da norma ABNT NBR 7222, para concretos, empregando-se uma máquina universal de ensaios EMIC DL 30000N, com intuito de verificar a resistência mecânica dos briquetes. O teste foi realizado a uma velocidade de 3 mm/min (GONÇALVES et al., 2013).

Realizou-se o teste de Tukey a um nível de 5% de significância, para verificar se houve diferença entre os briquetes produzidos a partir da garapeira e da muiracatiara.

Após 19 dias da confecção dos briquetes, realizou-se o teste de tamboramento segundo a norma ABNT 8740-85, onde 5 briquetes foram inseridos em uma caixa de dimensão 50x50x10 cm; então a caixa girou a 60 rpm durante 15 minutos. Por fim, mediu-se a massa da serragem que se despedaçou do briquete, para calcular a porcentagem de serragem que ficou intacta e a porcentagem que se desfez após o teste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Preparação do material

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da distribuição das partículas após análise granulométrica. Observa-se que ambas as serragens possuíram, em sua maioria, uma granulometria que passou pela peneira de 20 mesh e ficou retida na peneira de 100 mesh.



Tabela 1. Relação da porcentagem da quantidade de serragem retida em cada granulometria (peneira) de ambos os materiais

Peneira (mesh)	Granulometria (%)	
	Garapeira	Muiracatiara
20	0,55	0,86
35	32,01	47,21
60	38,40	37,93
100	14,68	8,00
200	9,83	4,00
Coletor	4,53	2,00

3.2 Análise química imediata e poder calorífico

Os resultados encontrados para a análise química imediata e poder calorífico superior dos materiais estudados se encontram na Tabela 2. Segundo Quirino (2003), o poder calorífico refere-se à quantidade de energia liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de um combustível. De acordo com um estudo realizado por Quirino et al. (2005), o qual fizeram um levantamento bibliográfico do poder calorífico de inúmeras espécies florestais, constataram que o poder calorífico superior das madeiras em geral se encontram entre 16278,28 e 22035,13 J/g. Contudo, Dutra et al. (2005) encontrou um valor de poder calorífico para Muiracatiara de 16839,31 J/g, um pouco abaixo do valor obtido pela pesquisa. Apesar de se tratar da mesma espécie, há uma série de fatores que contribuem para a composição química da madeira, como clima, idade, genótipo, solo, entre outros, e por isso houve uma diferença na poder calorífico.

Vale et al. (2002), encontrou teores de voláteis para madeiras de cerrado entre 74,62 e 81,20%. Brito & Barrichelo (1978) e Chrisostomo (2011) encontraram teores de voláteis para o gênero *Eucalyptus* de 89,9% e 83,48%, respectivamente. Pinheiro et al. (2005) obteve um teor de voláteis, de carbono fixo e de cinzas para muiracatiara próximo a 80%, a 19% e a 1%, respectivamente, valores parecidos com os encontrados pela análise realizada.

O teor de cinzas encontrado para muiracatiarara está abaixo de 1%, e de acordo com Brito e Barrichelo (1979), esse valor é geralmente menor que 1% em peso. Tradicionalmente, enxofre e cinzas são considerados as principais impurezas dos combustíveis (Quirino et al., 2005), portanto, quanto menor o teor de cinzas, melhor o material. Maraboto et al. (1991) obtiveram um teor de cinzas de 1,14% para a garapeira, bem próximo do valor encontrado pela análise. Como não se conhece a procedência da serragem coletada na marcenaria, no corte e manuseio das madeiras estudadas pode ter ocorrido incrustações de terra ao seu redor, o que resulta também num aumento do teor de cinzas (BRITO e BARRICHELO, 1979).

O teor de carbono fixo está relacionado com o teor de lignina, portanto, quanto maior o teor de lignina da madeira, maior sua resistência a decomposição térmica e maior seu teor de carbono fixo (BRITO & BARRICHELO, 1977; CRISOSTOMO, 2011). Nesse contexto, pode-se deduzir que a muiracatiara possui maior porcentagem de lignina em sua estrutura celular que a garapeira.

Tabela 2. Análise química imediata e poder calorífico da serragem da madeira de muiracatiara e garapeira

	Poder Calorífico Superior (J/g)	Umidade (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Carbono fixo (%)
Muiracatiara	20432	12,2	79,23 ± 1,00	0,95 ± 0,04	19,82
Garapeira	19492	12,3	82,57 ± 0,44	1,18 ± 0,08	16,25

3.3 Caracterização dos briquetes

A serragem que foi recebida da marcenaria (a granel) apresentou baixa densidade (Tabela 3). Observa-se que após ser moída e compactada, a densidade da serragem de muiracatiara aumentou 15,4 vezes e a de garapeira aumentou 26,5 vezes. A diminuição do volume da serragem, com a briquetagem, proporciona uma maior eficiência no transporte da biomassa energética.

Tabela 3. Densidade a granel da serragem de muiracatiara e marapeira e densidade unitária dos briquetes

	Densidade (g/cm ³)	
	A granel	Briquete
Muiracatiara	0,07	1,01 ± 0,0082
Garapeira	0,04	1,06 ± 0,0111

Na Figura 1, é possível notar que houve uma elevada expansão em altura dos briquetes de ambos os tratamentos, até 5 horas após a confecção e, a partir deste ponto, a curva de expansão em altura ficou menos acentuada. A expansão dos briquetes se dá devido a baixa adesão entre as partículas da serragem durante a compactação (CHRISOSTOMO, 2011).

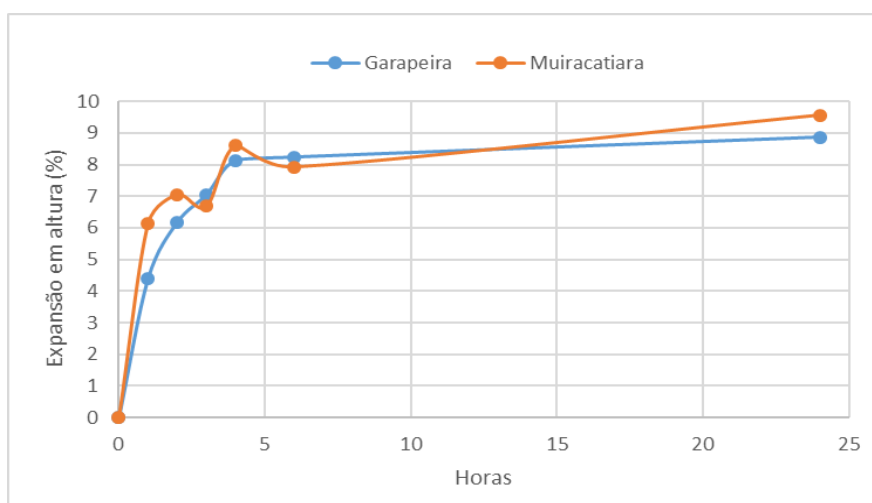


Figura 1. Expansão em altura dos briquetes



As Figuras 2 e 3 representam as curvas de tensão *versus* deformação dos briquetes de garapeira e de muiracatiara, respectivamente. A força máxima e a tensão da força máxima foi de 13,16 kgf e 0,1082 MPa para Garapeira, e 1,704 kgf e 0,01356 MPa para Muiracatiara, respectivamente. Houve diferença estatística em nível de 5% de significância entre a força máxima e a tensão da força máxima de ambos os tratamentos e, nesse caso, os briquetes de Garapeira apresentaram melhores valores de resistência que os briquetes produzidos a partir da serragem de Muiracatiara. A baixa resistência dos briquetes de muiracatiara pode ter relação com a granulometria e o teor de umidade utilizados, pois estes podem não ser os ideais para esta espécie (CHRISOSTOMO, 2011).

Gonçalves et al. (2013) encontrou valores de força máxima e tensão da força máxima para *Eucalyptus grandis* entre 66,19 e 90,22 kgf e 0,47 e 0,67 MPa, respectivamente. Os resultados de resistência encontrados neste trabalho se mostraram baixos em relação a literatura. Gonçalves infere uma relação indireta entre expansão longitudinal dos briquetes e resistência mecânica e essa pode ter sido uma das causas da baixa resistência dos briquetes.

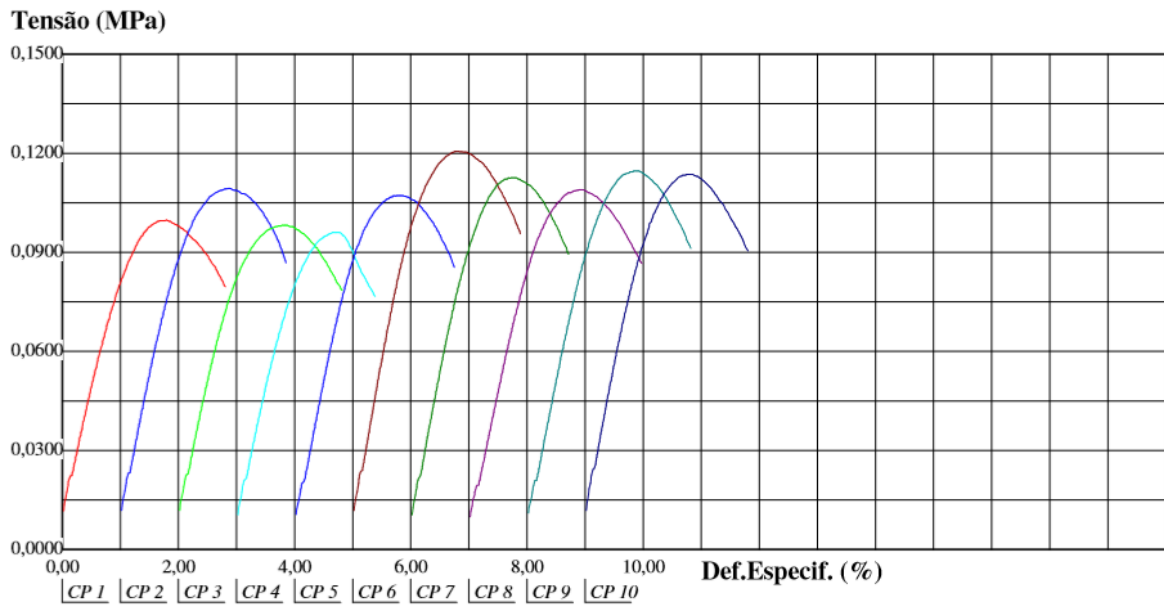


Figura 2. Resistência de tração por compressão diametral de 10 repetições de briquetes de garapeira.

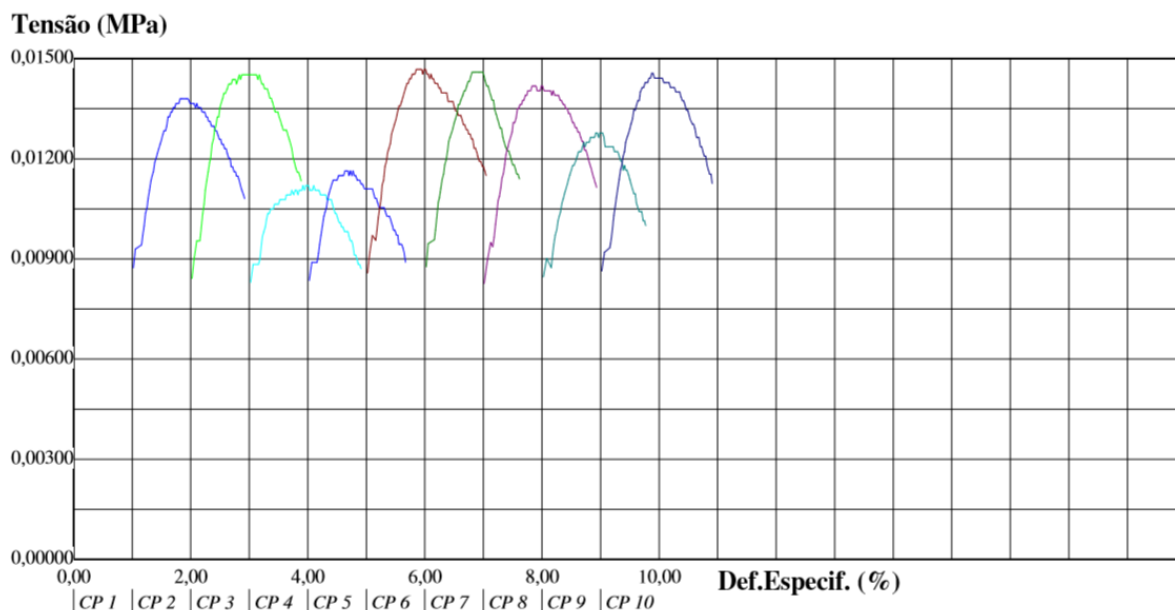


Figura 2. Resistência de tração por compressão diametral de 10 repetições de briquetes de muiracatiara.

No teste de tamboramento, os briquetes confeccionados a partir da serragem de muiracatiara se desfizeram por completo, enquanto que de garapeira, restaram apenas 15% de briquetes íntegros. Os briquetes de ambos os tratamentos se mostraram pouco coesos.

A partir dos baixos resultados de resistência à compressão diametral e tamboramento e das altas taxas de expansão, pode-se inferir que não houve uma boa adesão entre as partículas de serragem de cada tratamento.

CONCLUSÃO

Os briquetes produzidos de ambos os tratamentos obtiveram baixa resistência, devido a baixa adesão entre as partículas durante o processo de compactação, se tornando inviáveis para o transporte e estoque em grande escala. Para melhorar a resistência dos briquetes, recomenda-se o uso de aquecimento durante o processo de compactação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao grupo de pesquisa de Biomassa e Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, pelo apoio e ao meu orientador Fábio Minoru Yamaji pela ajuda e orientação sempre que necessária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZZON, G. Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agroflorestais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro. 1994. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.



BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF n.14, p.9-20, 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. IPF, Piracicaba, n.16, p.63-70, 1978.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. IPEF: Filosofia de trabalho de uma elite de empresas florestais brasileiras circular técnica. n° 52. 1979.

CHRISOSTOMO, W. Estudo da Compactação de Resíduos Lignocelulósicos Para Utilização Como Combustível Sólido. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M.; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA FLORESTAL PERIODICIDADE SEMESTRAL, ed 5, jan. 2005. ISSN 1678-3867.

EMBRAPA. Circular Técnica, 77: Grápiá. Colombo, PR, 2003.

GOLDENBERG, J. Energia meio Ambiente e Desenvolvimento. Ed. Edusp, São Paulo. 1998, 234 p.

GONÇALVES, B. F. ; YAMAJI, F. M. ; FERNANDEZ, B. O.; ROZ, A. L.; FLORIANO, F. S. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de Eucalyptus grandis para confecção de briquetes. REVISTA INSTITUTO FLORESTA, v. 25, p. 205-213, 2013.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Informações sobre madeiras. 2011. Disponível em: <http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca>. Acesso em: 18 jul. 2015.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Brasília: LPF/IBAMA, 14p. 2003.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. REVISTA DA MADEIRA, n° 89, pag 100-106, abril 2005.

VALE, T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. CIÊNCIA FLORESTAL, v. 12, n. 1, 2002.