

EFEITOS DA RESISTÊNCIA DO AÇAÍ COMO COMBUSTÍVEL SÓLIDO, MEDIANTE O PROCESSO DE BRIQUETAGEM.

João Lucas Lobato Soares, soaresjoao974@gmail.com¹

Fernando Henrique de Barbosa dos Santos, fernandohenrique13@yahoo.com¹

Moisés Abreu de Sousa, moises.sousa20ca@hotmail.com²

Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém-PA, 66075-110

²Universidade Federal Sul e Sudeste do Pará, Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, s/n - Nova Marabá, Marabá-PA, 68507-590

Resumo: A partir de estudos relacionados a novos combustíveis com baixo teor de nitrogênio e enxofre, descobriu-se a existência de um gama diversificada de espécies na região amazônica, entre os quais, o açaí. Devido o desperdício excessivo das sementes do fruto, houve a necessidade da criação de um plano de reaproveitamento, principalmente, para a combustão. Haja vista que o território nacional possui extensão continental, é indubitável a análise de métodos de estoque da biomassa para exportação inter-regional. Consequentemente, a briquetagem tornou-se um das principais soluções devido à compactação dos resíduos e proteção contra umidade. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas dos briquetes produzidos por meio do açaí, em especial, a compressibilidade diametral, de modo a viabilizar o transporte de material sem comprometer o produto. Avaliou-se a primeira instância, a biomassa sob três estados de briquetagem: 60 e 80 kgf/cm². E comparou-se com duas biomassas já conhecidas e utilizadas no setor industrial e comercial: O Eucalipto e a Cana-de-Açúcar. Por fim, constatou-se a eficiência dos briquetes a 60 e 80 kgf/cm², a partir da resistência máxima de compressão diametral, número e altura máxima de empilhamento.

Palavras-chave: Briquetagem, compressão diametral, empilhamento, biomassa, açaí.

1. INTRODUÇÃO

A crescente substituição de fontes renováveis em detrimento de elementos fósseis acarretou na procura de novos meios de energia térmica, tal como, a biomassa vegetal. Haja vista que a Amazônia é reconhecida, devido à diversidade ecológica, como imensurável fonte de acesso a matérias-primas no setor energético, é válida a análise de diferentes sólidos vegetais para esta determinada finalidade. Outrossim, o *Euterpe oleracea* Mart. (açaí) é um fruto típico da região e cultivado, principalmente, em zonas 'ribeirinhas' (as margens das hidrovias amazônicas) sobre terrenos de várzea (planícies inundadas durante determinado período do ano e propício a agricultura familiar devido à fertilidade do solo), majoritariamente, para o consumo local mediante a produção do suco.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), somente o Estado do Pará produz 107,028 toneladas por ano, representando 88,5% da realidade do Brasil. Não obstante, para Rodrigues et al (2002) a estimativa de disponibilidade é de, aproximadamente, 93,521 toneladas de caroços anualmente e potencial energético de 489,01 GWh por ano. Ainda assim, os resíduos provenientes do caroço são avaliados como lixo comercial, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 10004/1987), ao qual, são constantemente desperdiçados.

O problema é paralelo à precariedade na produção de energia elétrica, devido ao distanciamento de locais isolados em relação a zonas com eletrificação, ao qual, ocasiona a inviabilidade econômica para redistribuição, cuja única alternativa é as usinas termoelétricas alimentadas por óleo Diesel, combustível altamente poluente e de alto custo de importação.

No entanto, a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia (SEDEME) prevê o reaproveitamento do caroço do açaí como fonte alternativa de combustível limpo. Destarte, por meio do processo da briquetagem, tecnologia segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2012) é definida como a conformação física da matéria-prima sem a alteração da composição química mediante a compactação da biomassa, de modo a crescer na resistência, além de viabilizar o transporte em larga escala. Portanto, este trabalho consiste na investigação do açaí análogo a outros combustíveis já empregados.



Figura 1. Estoque e Empilhamento de Briquetes (Embrapa, 2012).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Rogez (2000), o açaí é um fruto com diâmetro entre 1 e 2 cm e peso médio entre 0,8 e 2,3 g. O caroço, resíduo aproveitado como combustível, constitui 83% do fruto, cuja composição é rica em celulose, hemicelulose, cristais de inulina (polissacarídeo da frutose) e lipídeos, (Altman, 1956 e Chaves, 1948) explícita na Tabela 1.

Um dos principais componentes é a lignina com 7,72%, amplamente empregada na produção de adesivos devido às altas forças de ligação, excelente resistência à água e calor, além de elevada estabilidade química. Tais características são vantajosas para a briquetagem, dado o acréscimo da resistência do material devido a agregação da lignina na região compactada, aumento da aversão à umidade, além de evitar uma combustão indesejada durante a fabricação.

A combustão da biomassa é considerada uma reação exotérmica complexa, cuja aplicação mais comum é a formação de vapor para o funcionamento do Ciclo Rankine, a partir de caldeira e turbinas, amplamente utilizadas para a conversão de energia térmica em elétrica no setor industrial, comercial ou em áreas isoladas (Quoilin, 2009).

A afirmativa de combustível limpo é corroborada por Seye O. et al (2008) segundo a Tabela 2, a qual se infere não emitir óxidos de nitrogênio e enxofre, principais agentes da chuva ácida, durante a combustão.

Tabela 1. Composição do caroço do Açaí.

Umidade	13,60 %
Extrato Estéreo	3,01 %
Extrato Alcoólico	9,32 %
Extrato Aquoso	2,80 %
Proteínas Brutas	4,34 %
Hemicelulose	12,26 %
Celulose	34,41 %
Lignina	7,72 %
Cinzas	1,34 %

Tabela 2. Composição Elementar do Açaí.

Componentes (% Peso)						
Elementos	H	C	N	O	S	Cinzas
%	5,57	48,80	Não-detectado	46,19	Não-detectado	0,44

Consoante, o ensaio de compressão diametral ou tração indireta, reconhecido mundialmente como método brasileiro, criado por Lobo Carneiro (1946) e adotado pela ABNT (NBR 7222), é considerado o teste de avaliação mais

eficaz em relação aos briquetes por apresentar maior facilidade de execução e auxiliar na análise da capacidade de estocagem por empilhamento, ilustrado na Figura 1.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o processamento dos briquetes, foi recolhido açaí in natura no comércio local da cidade de Belém do Pará/Pa, a qual, o estado é responsável por 59% do cultivo do país, segundo o IBGE. Após o armazenamento, os caroços foram picados e moídos pelos moinhos NETZCH - CUM 100 e RONE - T 200, para obter um controle granulométrico adequado. Analisou-se a umidade da biomassa fragmentada recolhendo-se uma amostra de 1 g, por aproximadamente 24 horas, em uma estufa segundo o Comitê Europeu de Normalização (CEN/TS 14774-1) a qual, a umidade relativa deva estar em um intervalo de 12% a 18%.

Posterior ao pré-tratamento da biomassa, foram produzidas seis briquetes para análise de resistência. A briquetadeira operada (fabricante LIPPEL modelo LB-32), presente na Figura 2, é um equipamento hidráulico de propriedade do Laboratório de Caracterização de Biomassa/UFPa, ao qual, comprime a amostra a um intervalo de temperatura e pressão pré-definido, com estabilização da temperatura em, aproximadamente, 30 minutos após a determinação no painel da máquina, para o início da confecção do briquete. A pressão é medida por manômetros indicativos aos dois cilindros, uma válvula que controla a pressão, uma alavanca de controle fino de pressão e uma válvula de alívio. Não houve a necessidade da utilização de aglomerantes. A temperatura de briquetagem foi configurada a temperaturas entre 115 °C e 125 °C para pressões de 60 e 80 kgf/cm², três amostras para cada magnitude.



Figura 2. Briquetadeira LB-32

Além da granulometria e da definição de temperatura e pressão na produção, a umidade adequada irá proporcionar o dimensionamento padrão e dificultar a combustão da amostra na briquetadeira. Os briquetes preparados apresentaram intervalo de incerteza de $62,32 \pm 1,0$ g de massa e $32,45 \pm 0,064$ mm de diâmetro, obtido por meio da pesagem do açaí pós-tratamento. Durante o processo, a água contida no material evapora, sendo assim, é usada uma bomba manual, de modo a evitar a despressurização no interior da câmara de compressão e não comprometer o briquete. A duração da pressurização foi de 10 minutos individualmente. Em seguida, o alívio de pressão e exposição do briquete já formado externo a câmara acrescentando mais 10 minutos de resfriamento por ventilação forçada, até o equilíbrio térmico com a temperatura ambiente. Dados as amostras confeccionadas, foi estabelecida a geometria do corpo (diâmetro e comprimento) com um paquímetro de resolução de 0,05 mm.

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil (LEC). Foram realizados testes de compressão diametral a cada amostra, de acordo com a norma NBR 7222 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994) esquematizada na Figura 3, cuja média da carga máxima no ensaio foi estabelecida entre os três corpos para cada pressão de briquetagem e a resistência de compressão diametral é calculada pela Equação (1). F representa a força de resistência máxima, g representa a aceleração de gravidade, d e l representam o diâmetro e o comprimento do briquete, respectivamente. Com os dados coletados, foi realizado o tratamento estatístico dos resultados em comparação a dois materiais já caracterizados para briquetagem na literatura e conhecidos comercialmente: O Eucalipto e a palha da Cana-de-açúcar (*Eucalyptus* sp e *Saccharum officinarum* L., respectivamente), dados fornecidos por da Silva D. *et al* (2015).

Em relação à logística, há a necessidade de avaliar a capacidade de estocagem dos briquetes durante o transporte. Logo, a estimativa do número máximo de briquetes empilhados verticalmente e a altura limite são calculadas pelas Equações (2) e (3), respectivamente. O fator de segurança (f_s) foi definido como 3.

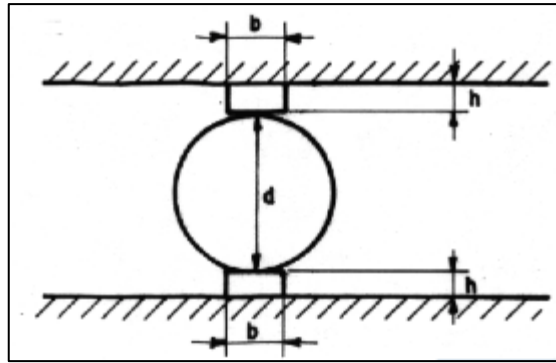


Figura 3: Disposição do Corpo-de-prova (NBR 7222)

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times F \times g}{\pi \times d \times l} \quad (1)$$

$$N_{emp} = \frac{F}{f_s \times m \times 10^{-3}} \quad (2)$$

$$H_{emp} = \frac{N_{emp} \times d}{10^3} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os briquetes produzidos apresentaram bom aspecto superficial, com ausência de trincas. Inferiu-se que o intervalo de temperatura possibilitou a fusão da lignina e a agregação na região de superfície, de modo a aumentar a homogeneidade e a resistência do briquete. Além disso, a ruptura das amostras durante os ensaios ocorreu de modo longitudinal no centro do diâmetro do corpo como demonstrado na Figura 4, cujos valores de Comprimento e Força Máxima de Compressão foram exibidos na Tabela 2. Decerto que a leve diferença de comprimento entre os dois parâmetros deve-se a pressão de briquetagem e, como consequência, uma menor Força de Compressão para os briquetes de 60 kgf/cm², notou-se que a metodologia de briquetagem também influenciou na resistência do material, haja vista que na literatura, o tempo padrão das amostras já conhecidas dentro da câmara da briquetadeira foi de 30 segundos.

Ainda assim, a notória superioridade dos briquetes de açaí em analogia às demais biomassas, explícita na Tabela 3 construída com base na Equação (1). A partir da relação entre a Resistência Máxima e a Densidade, revela-se que a inclusão desse material para a indústria e comércio é viável, além de não interferir no comparativo na resistência a compressão diametral de cada biomassa. As observações também indicaram que os briquetes de açaí processados a 80 kgf/cm² são mais resistentes à tração indireta devido a maior compactação da biomassa em comparação a outra faixa de pressão.

Tabela 2. Ensaio de Compressão Diametral do Açaí.

Pressão de Briquetagem (kgf/cm ²)	60	80
Comprimento (mm)	61,56 ± 0,92	61,38 ± 1,15
Força Máxima de Compressão (kgf)	885,55 ± 52.5	1029,86 ± 63.4

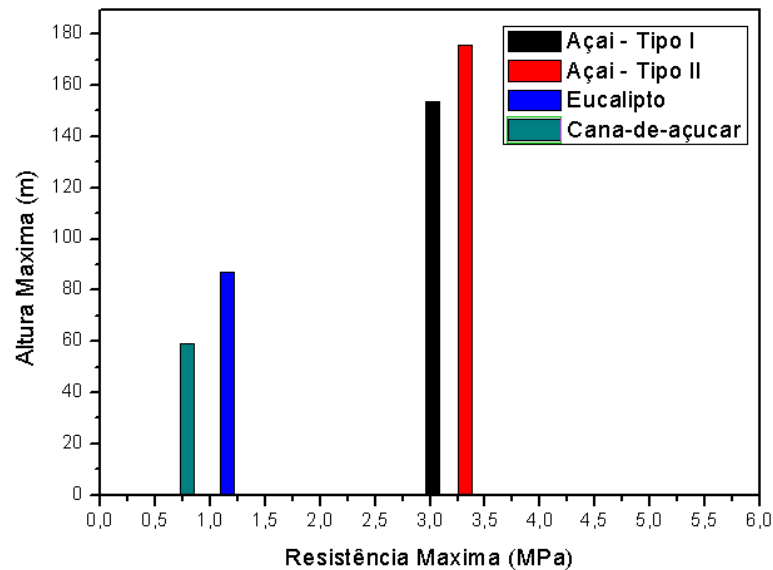
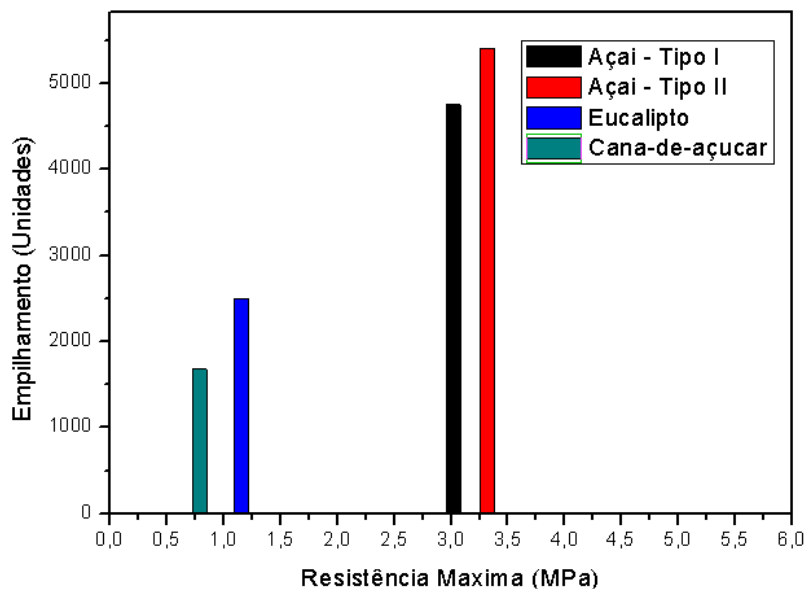


Figura 4: Amostras pós-ensaio de resistência.

Tabela 3. Resistência a Tração por Compressão Diametral.

Briquete	Açaí, 60 kgf/cm ²	Açaí, 80 kgf/cm ²	Eucalipto	Cana-de-Açúcar
Densidade (kg.m ⁻³)	1217,1	1263,8	920	1110
Resistência Máxima (MPa)	2,833	3,256	1,215	0,975

Consequentemente, os briquetes a 80 kgf/cm² também apresentaram maior altura e número máximo de empilhamento, com base nas Equações (2) e (3) e expressos nas Figuras 5 e 6, respectivamente. O Açaí – Tipo I corresponde aos briquetes tratados a 60 kgf/cm² e o Açaí Tipo – II a 80 kgf/cm². Todavia, a briquetagem a 60 kgf/cm² apresentou resultados bem próximos em relação à de pressão superior, e destarte, é coerente confirmar a possibilidade de estoque de corpos a essa pressão.

**Figura 5: Relação da Altura de Empilhamento****Figura 6: Relação do Número de Empilhamento.**

É notável a proporcionalidade entre o número e a altura na avaliação da biomassa estudada com as demais matérias-primas. Apesar das discrepâncias, todas as biomassas são reutilizáveis dadas as análise de poder calorífico, estudo, ao qual, não é o alvo deste trabalho.

5. CONCLUSÃO

Dados os resultados, observou-se que os briquetes produzidos a 60 e 80 kgf/cm² apresentaram melhores rendimentos. Devido a nova metodologia de briquetagem deste trabalho em relação com a literatura, houve superioridade dos briquetes de açaí comparados ao de Eucalipto e de palha da Cana-de-Açúcar.

Além das biomassas apresentadas, outros resíduos provenientes de matérias-primas reconhecidas no cenário nacional também podem ser reutilizadas como a fibra do Dendê ou fibra de Côco, aos quais, ainda não há estudos direcionados especificamente e podem ser aplicados por meio da briquetagem para geração de energia. Verificou-se, também a cálculo do número e altura máxima de empilhamento, para a análise logística para grandes estoques, amplamente importante para a preservação e transporte dos produtos. Corroborou-se, portanto, a viabilidade da produção de briquetes com o caroço do açaí, do ponto de vista logístico.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Laboratório de Caracterização de Biomassa (LacBio) pertencente ao Grupo de Estudo de Biomassa e Meio Ambiente (EBMA) da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM/UFPA.

7. REFERÊNCIAS

- Altman, R. F. A., 1956, “O Caroço do açaí” (Euterpe oleracea, Mart.) Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte, Belém – PA, Brasil, 31, pp. 109-111.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 7222. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- Chaves, J.M., Pechnik, E., 1948, “O assaí, um dos alimentos básicos da Amazônia”, Anais do 4º Congresso da Associação de Química do Brasil, pp. 169-172.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 2012, “Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais”. Agroenergia, Distrito Federal.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2008, “Produção da extração vegetal e da silvicultura”. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Rio de Janeiro.
- Hansted, A. L. S. et al., 2017, “Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production”. Fuel, Sorocaba, v. 184, p. 1-5.
- Lima RR. A., 1965, “Agricultura nas varzeas do estuário amazonico”. n.º 33, Belem-PA, Brasil: Boletim tecnico do Instituto Agrônomo do Norte; pp. 1-164.
- Pará2030. Caroço de açaí pode virar fonte de energia. Disponível em: <http://para2030.com.br/caroco-de-acai-pode-virar-fonte-de-energia/>. Acesso em: 13 dez. 2017.
- Quoilin S, Lemort V. Technological and economical survey of organic Rankine cycle systems. In: Proceedings 5th European conference economics and management of energy in industry. Algarve e Portugal, 2009.
- Rodrigues LD, da Silva IT, Rocha BRP, 2002, “Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará”, Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural.
- Rogez, H., 2000, “Açaí: Preparo, composição e Melhoramento da Composição”/ Hervé Rogez. Belém: EDUFPA.
- Seye O, Souza RCR, Bacellar AA, Ramos de Souza CD, de Moraes MR., 2008, “Caracterização do Caroço de Açaí como insumo para geração de Eletricidade via Gaseificação”. In: Proceedings: AGRENER GD 2008-7 Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. Universidade de Fortaleza e Unifor: Fortaleza (CE).
- Silva, D. A. da et al, 2015, “Caracterização de biomassas para a briquetagem”. Floresta, Curitiba, v. 58, n. 45, p. 1-12.
- Suhartin, Sri; Hidayat, Nur; Wijaya, Sieni. Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth. Biomass & Bioenergy, Suhartini, v. 58, n. 35, p. 1-6, jul. 2011.
- Teixeira, M. A. et al., 2013, “Assaí - An energy view on an amazon residue”. Biomass & Bioenergy, Rio de janeiro, v. 58, p. 1-12,.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(eis) pelo conteúdo deste trabalho”.

EFFECTS OF ASSAI RESISTANCE AS SOLID FUEL, BY THE BRIQUETTE PROCESS.

João Lucas Lobato Soares, soaresjoao974@gmail.com¹

Fernando Henrique de Barbosa dos Santos, fernandohenrique13@yahoo.com¹

Moisés Abreu de Sousa, moises.sousa20ca@hotmail.com²
Danielle Regina da Silva Guerra, daguerra@ufpa.br¹

¹Federal University of Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém-PA, 66075-110

²South and Southeast Federal University of Pará, Folha 31, Quadra 7, Lote Especial, s/n - Nova Marabá, Marabá-PA, 68507-590

Abstract. *Based on studies related to new fuels with low nitrogen and sulfur content, the existence of a diverse range of species in the Amazon region was found like the Assai. With the excessive waste of the fruits seeds, it was necessary to create a reuse plan, mainly for the combustion. Given that the national territory has continental extension, it is undoubtedly the analysis of methods of stocking the biomass for interregional export. Consequently, briquetting has become one of the main solutions due to the compaction of the residues and protection against moisture. Therefore, this work aims to evaluate the physical properties of briquettes produced by means of assai, in particular, the diametrical compressibility, in order to enable the transport of material without compromising the product. The biomass was evaluated under three states of briquetting: 60 and 80 kgf / cm². And it was compared with two biomasses already known and used in the industrial and commercial sector: Eucalyptus and Sugarcane. Finally, it was verified the efficiency of the briquettes at 60 and 80 kgf/cm², from the maximum resistance of diametral compression, number and maximum height of stacking.*

Keywords: *Briquetting, diametrical compression, stacking, biomass.*