

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DO MATERIAL NA PRODUÇÃO E RESISTÊNCIA DE BRIQUETES

Aliane do Carmo Oliveira Pereira^{1,2}; João Lúcio de Barros¹; Franciane Andrade de Pádua²; Fábio Minoru Yamaji²

RESUMO

O Brasil é um país com grande potencial para produção de energia a partir de biomassa. Uma alternativa para suprir as demandas do setor energético está no aproveitamento de resíduos lignocelulósicos através da compactação para produção de lenha ecológica, os briquetes. O objetivo foi verificar a interferência da variação de umidade na densidade e resistência mecânica dos briquetes oriundos de casca e serragem de eucalipto. As biomassas com granulometria de 40 e 60 meshes foram compactadas com tratamentos de 10%, 15% e 20% de umidade para ambos materiais, sob uma carga de 12 toneladas por 30 segundos. Foram feitas análise imediata, análises resistência mecânica, densidade e análise de expansão volumétrica dos briquetes durante o período de 72 horas. Os resultados obtidos nos briquetes de serragem apresentaram uma durabilidade acima de 89% nos tratamentos com 15% de umidade e os tratamentos com 10% de umidade apresentaram maior densidade. Os briquetes de casca com 10% de umidade apresentara uma durabilidade acima de 88%. Briquetes produzidos com 20% de umidade apresentaram rachaduras, foram menos resistentes e ficaram com densidade inferior aos demais tratamentos em ambos os materiais. Todos os tratamentos tiveram variação volumétrica até 72 horas e apresentaram perda de umidade para o ambiente. Embora os briquetes de casca tenham obtido maiores valores de densidade os briquetes de serragem tiveram melhores resultados na resistência. Conclui-se que a relação umidade pode influenciar na resistência e densidade do material com comportamento diferente dependendo do material.

Palavras-chave: Eucalipto, casca, serragem, densidade, durabilidade, biomassa, resíduos

ABSTRACT

Brazil is a country with great potential for producing energy from biomass. An alternative to meet the demands of the energy sector is the use of lignocellulosic waste through compaction for the production of ecological firewood, the briquettes. The objective was to verify the interference of moisture content variation in the density and mechanical resistance of the briquette from bark and sawdust of eucalyptus. The biomasses with granulometry of 40 and 60 meshes were compacted with treatments of 10%, 15% and 20% of moisture content for both materials, under a load of 12 tons for 30 seconds. Proximate analysis, durability and volumetric

1. Instituto Federal de São Paulo – Campus Sorocaba, aliane@ifsp.edu.br
2. Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis (PPGPUR)

expansion analysis of the briquettes were performed during the 72 hour period. The results obtained in the sawdust briquettes showed a durability above 89% in the treatments with 15% of moisture content and the treatments with 10% of moisture content showed higher density. The bark briquettes with 10% moisture content showed durability above 88%. Briquettes produced with 20% moisture content showed cracks, were less resistant and had a lower density than the other treatments in both materials. All treatments had a volumetric variation up to 72 hours and showed loss of moisture content to the environment. Although bark briquettes obtained higher density values, sawdust briquettes had better results in strength. It is concluded that the moisture content ratio can influence the resistance and density of the material with different behavior depending on the material.

Keywords: Eucalyptus, bark, sawdust, density, durability, biomass, wastes

INTRODUÇÃO

Uma das fontes promissoras de energia limpa e renovável, é a energia a partir da biomassa. A bioenergia, como é chamada, pode ser mecânica, térmica ou elétrica e é produzida a partir de qualquer matéria, seja ela de origem florestal, agrícola ou rejeitos urbanos e industriais (ANEEL, 2008).

Segundo (IBÁ 2019) a biomassa de origem florestal corresponde a 7,83 mi de hectares de floresta plantada, 12% são destinados a produção de carvão. A maior parte dessa produção é oriunda de espécies de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*

Uma das preocupações em nível mundial está na quantidade de matéria prima consumida para suprir a demanda dos seguimentos industriais e os efeitos que causam no ambiente (FLORENTINO-MADIEDO; DÍAZ; FAES; BARRIOCANAL, 2020).

A atividade industrial e o setor florestal geraram em 2016 uma quantidade significativa de resíduos de madeira equivalente a 47,8 mi de toneladas sendo que 70% foram gerados pelas atividades florestais e 30% nas atividades industriais (BARROS, 2019).

A geração excessiva de resíduos de madeira associada ao seu baixo

aproveitamento resultam em danos ambientais, além de perda significativa de oportunidade para a indústria e comunidades locais (FLORESTAS, 2009).

Alguns subprodutos viáveis e eficientes, que podem ser produzidos a partir desses resíduos através da compactação da matéria são os briquetes.

Como relatado por Quirino (1991) o processo de compactação aumenta a quantidade de energia por metro cúbico em pelo menos 5 vezes comparado com a mesma quantidade de matéria a granel, emite menos gases que os combustíveis tradicionais, mantém a temperatura constante e uma combustão mais lenta. Esses subprodutos da madeira podem substituir o uso direto da lenha e do carvão vegetal em caldeiras, fornos industriais e até mesmo no uso doméstico.

Para a produção eficiente do briquete, alguns parâmetros são necessários para cada tipo de material. Encontrar esses parâmetros garantem maior confiabilidade no processo e competitividade técnico e econômica do produto.

Nesse trabalho foram analisados a influência da umidade do material na produção e resistência do briquete, tendo como matéria prima a casca e madeira de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas casca e madeira de eucalipto coletadas em uma empresa da região de Salto, SP. A preparação das amostras e as análises foram feitas no laboratório de biomassa e bioenergia da UFSCar Sorocaba.

Preparação das amostras: Os materiais foram secos em estufa com recirculação na temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após a secagem o material foi triturado em triturador marca Lipel e moído em moinho de facas tipo Wiley. Posteriormente o material foi peneirado e classificado em peneirador automático e peneiras de 40, 60, 100 meshes. Para a compactação e análises foram utilizadas granulometrias que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Esses materiais (analisados antes da briquetagem) foram classificados como: casca de eucalipto (CE) e serragem de eucalipto (SE).

Ajuste da umidade: Após o processamento, as biomassas foram ajustadas para 10%, 15% e 20% de umidade (base seca), com auxílio de balança digital com precisão de 0,01 g e borrifador manual. O ajuste foi feito borrifando água no material, no interior de um saco plástico e misturando manualmente por 10 minutos. O material permaneceu em repouso por 24 horas dentro da embalagem fechada, para completar a homogeneização na amostra.

Briquetagem: Foram produzidos um total de 54 briquetes, sendo 27 de casca de eucalipto e 27 de serragem de eucalipto. A compactação foi realizada em escala de laboratorial utilizando 20 g de material em molde cilíndrico de aço com altura de aproximadamente 200 mm e diâmetro interno com aproximadamente 35 mm e prensa hidráulica de 15 toneladas da marca Marcon. O tempo de compactação foi de 30 segundos

com uma pressão de 12 toneladas. Os briquetes foram retirados do molde, identificados, medidos, pesados e acondicionados em bandejas, permanecendo sob temperatura e umidade ambiente. Os briquetes foram classificados em briquetes de casca de eucalipto, seguido do percentual de umidade (BCE10, BCE15 e BCE20) e briquetes de serragem de eucalipto seguido do percentual de umidade (BSE10 BSE15 e BSE20)

Expansão volumétrica: Foram feitas medições utilizando paquímetro digital com precisão de 0,01mm. Foram medidos as alturas e os diâmetros imediatamente após a retirada do briquete do molde e posteriormente no intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas, semelhante a metodologia utilizada por Chrisostomo (2011).

Foi utilizado a equação 1 para o cálculo para expansão volumétrica.

$$EV = h * \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \quad (1)$$

Onde: EV: Expansão volumétrica, em mm³; h: altura do briquete, em mm; d: diâmetro, em mm.

Ensaio de resistência mecânica: A resistência mecânica dos materiais foi verificada realizando o teste de durabilidade, com base na norma europeia (BS EN 15210-2, 2010). Foram inseridas 3 amostras de briquete no tambor e o mesmo foi girado a 35rpm por 15 minutos, resultando em aproximadamente 500 rotações. Após as rotações o briquete foi novamente pesado para verificar a diferença de massa. A equação 2 mostra o cálculo da durabilidade do material.

$$Du = \left\{1 - \left[\frac{mi-mf}{mi}\right]\right\} * 100 \quad (2)$$

Onde, Du: durabilidade, em %; mi: Massa inicial, em g; mf: Massa final, em g;

Umidade: A análise da umidade foi realizada inserindo aproximadamente 1,5

gramas de material no analisador de umidade marca Shimada. Conhecendo a umidade do material a mesma foi ajustada para 10%, 15% e 20% borrifando água e homogeneizando o material dentro do recipiente hermeticamente fechado.

Análise Imediata: Foram analisadas quatro amostras para cada tipo de material. As amostras foram separadas em cadinhos de porcelana previamente calcinados e pesadas em balança analítica de precisão de (00001g). Em cada cadinho foram colocados aproximadamente 1,5 gramas de material.

Teor de voláteis: A determinação do teor de voláteis foi realizada em duplicata utilizando o forno tipo Mufla a temperatura de 950°C colocando os cadinhos por 2 minutos na porta, 3 minutos dentro da Mufla com a porta aberta e 6 minutos com a porta fechada totalizando por 11 minutos. Em seguida foram retirados e colocados no dessecador com sílica em gel por 30 minutos, para resfriamento. As amostras foram pesadas e a equação 3 foi utilizada para determinar o teor de voláteis, conforme a Norma ASTM D-3174 (2018).

$$TV = \left(\frac{mi - mf}{mi} \right) * 100 \quad (3)$$

Onde, TV: Teor de matérias voláteis, em %; mi: Massa inicial, em g; mf: Massa final, em g;

Teor de cinza: As amostras foram colocadas no cadinho de porcelana e levadas em duplicata no interior do forno Mufla a uma temperatura de 600° por 6 horas. Em seguida foram retiradas e colocados no dessecador com sílica em gel por 30 minutos. Após resfriamento foram pesados e a equação 4 utilizada para determinar o teor de cinzas.

$$TC = \left[100 - \left(\frac{mi - mf}{mi} \right) \right] * 10 \quad (4)$$

Onde, TC: Teor de cinzas, em %; mi: Massa inicial, em g; mf: Massa final, em g;

Teor de carbono fixo: O teor de carbono fixo foi calculado pela diferença dos valores de voláteis e cinzas, utilizando a equação 5.

$$TCF = [100 - (TV + TC)] \quad (5)$$

Onde, TCF: Teor de carbono fixo, em %; TV: Teor de matérias voláteis, em %; TC: Teor de cinzas, em %;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a umidade do material serviram para que fosse realizado o ajuste da umidade na preparação das amostras. Conforme recomendações da literatura, as proporções de umidade adequadas estão entre 8 e 12% (CHRISOSTOMO, 2011).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados de umidade e da análise imediata das biomassas.

Tabela 1. Teor de umidade e análise imediata das biomassas.

Amostra	CE (%)	SE (%)
Umidade	13,17	14,64
Materiais Voláteis	81,86	77,44
Cinzas	7,74	1,02
Carbono fixo	10,41	21,54

CE: Casca de eucalipto; SE: Serragem de eucalipto

O teor de materiais voláteis e de carbono fixo foram próximos aos encontrados por Brito e Barrichello (1982), onde os teores de matérias voláteis estão entre 75% a 85% e de carbono fixo entre 14% a 25%.

O alto teor de cinzas encontrado para casca de eucalipto (CE) pode ser um fator limitante na utilização industrial podendo elevar custos de manutenção, excesso de resíduos além de reações químicas indesejadas (BARROS, 2019).

A serragem de eucalipto (SE) apresentou uma porcentagem maior de carbono fixo que a casca de eucalipto (CE), isso se deve provavelmente, ao fato desse

material conter uma quantidade maior de lignina e extrativos, de baixo potencial calorífico. (NEIVA et al., 2018).

A Figura 1 mostra a expansão volumétrica dos briquete de serragem e casca.

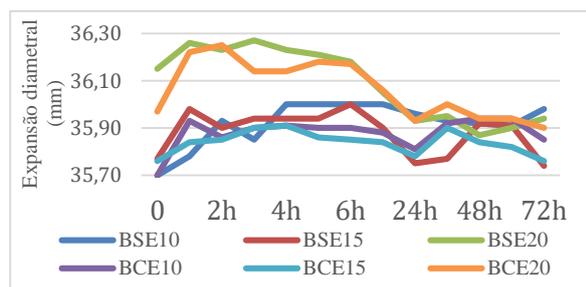


Figura 1. Expansão longitudinal dos briquetes

Os briquetes com menor expansão foram os produzidos a partir da casca com umidade de 10%.

O processo de expansão em BCE20 e BSE20 apresentaram um percentual importante na primeira hora em ambas biomassas entre 7,32% e 9,02%. A variação volumétrica total durante período analisado foi de aproximadamente 4,5%, sendo a maior variação detectada no intervalo de 1 e 2 horas após briquetagem. Houve durante esse período um processo de retração pode ser explicado pela higroscopicidade da madeira que, quando perdem a umidade para o ambiente e possivelmente geraram uma aproximação das partículas resultando em diminuição dimensional. (SILVA et al., 2017). O mesmo fenômeno pode ser observado para os tratamentos BCE15 e BSE15, porém, em menor escala. Isso indica a necessidade cuidado no armazenamento controlando a umidade e temperatura que que não percam qualidade. (MASULLO et al., 2018).

As perdas de umidade das amostras após 72 horas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Umidade inicial e final das amostras.

Amostras	Umidade inicial (%)	Umidade final (%)
BSE10	10	9,5
BSE15	15	11,1
BSE20	20	10,8
BCE10	10	7,8
BCE15	15	9,3
BCE20	20	10,3

Foi possível verificar algumas rachaduras nas amostras de BCE20 e BSE20. Essas rachaduras foram observadas em outras biomassas lignocelulósicos compactadas com alto índice de umidade relatos por (QUIRINO, 1991) e que justifica que pode ser um indicativo de baixa resistência ao transporte.

Na tabela 3 é possível verificar os resultados obtidos da densidade aparente dos briquetes.

Tabela 3. Densidades das amostras

Amostras	Densidade aparente (g/cm ³)
BSE10	0,99
BSE15	0,79
BSE20	0,77
BCE10	0,99
BCE15	0,96
BCE20	0,78

Os melhores resultados de densidade dos briquetes foram observados quando compactados em umidade de 10% tanto para SE quanto para CE. Houve um resultado aproximado para CE em umidade de 15%.

A biomassa compactada com 20% de umidade resultou em briquetes densidade inferior que comprometeu a qualidade do briquetes. Resultados semelhantes foram encontrados por (da SILVA et al., 2015)

A Figura 2 mostra os resultados para o ensaio de durabilidade dos briquetes.

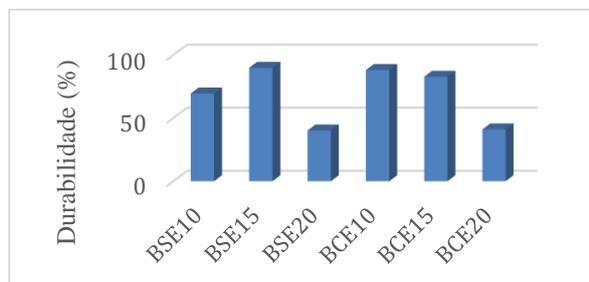


Figura 2. Resultados da durabilidade

O ensaio de resistência mecânica oferece parâmetros importantes na produção do briquete. A partir dele foi possível analisar sua friabilidade.

Os resultados obtidos neste estudo identificaram que para a serragem de madeira a umidade 15% se adequou melhor enquanto para a casca a umidade de 10% garantiu resultados mais satisfatórios, porém respondendo bem quando submetidas em a um teor de 15%. (QUIRINO, 1991) observou uma margem ideal de 8-12% de umidade para compactação.

O ensaio a 20% mostrou-se inviável para ambas biomassas o que é justificável pela proporção de expansão que ocasiona afastamento intermolecular e caracterizando baixa resistência. (SILVA et al., 2017). Nas figuras 3 e 4 podemos observar os briquetes logo após o ensaio.

CONCLUSÃO

Os tratamentos com menor umidade apresentaram maior densidade aparente. Os tratamentos com 10% e 15% de umidade tiveram melhores resultados de durabilidade.

Os resultados obtidos apontam que as biomassas são fontes promissoras de combustíveis sólidos. Os briquetes de serragem e casca apesar de serem biomassas oriundas da mesma espécie florestal, tiveram resultados e comportamentos diferentes entre si quando submetidas a mesma umidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colaboradores Diego A. Silva, Elias R. D. Padilla e Marcos J.F. Apresentação pelo apoio no desenvolvimento das análises laboratoriais e ao Grupo de Pesquisa Biomassa e Bioenergia pela disponibilização e uso de equipamentos.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Parte II: Fontes Renováveis - Biomassa. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, p. 63–74, 2008.
- DA SILVA, D. A. et al. Caracterização de biomassas para a briquetagem. *Floresta*, v. 45, n. 4, 2015.
- BARROS, J. L. Biocoque como fonte de energia renovável para uso siderúrgico. (tese). UNESP 2019.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: Sem. de abastec. Energ. industrial com recursos florestais. São Paulo, 1982.
- CHRISOSTOMO, W. Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido (dissertação). UFSCar., 2011.
- FLORENTINO-MADIEDO, L.; DÍAZ-FAES, E.; BARRIOCANAL, C. Mechanical strength of bi-coke from briquettes. *Renewable Energy*, v. 146, p. 1717–1724, 2020.
- FLORESTAS, S. D. E. B. E. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos. 2009.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório 2019 Report 2019. Relatório, p. 1–80, 2019.
- MASULLO, L. S. et al. Use of blends containing different proportions of straw and sugarcane bagasse for the production of briquettes. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 3, p. 641–654, 2018.
- NEIVA, D. M. et al. Potential of eucalyptus globulus industrial bark as a biorefinery feedstock: chemical and fuel characterization. *Industrial Crops and Products*, 2018. v. 123, n. July, p. 262–270.
- QUIRINO, W. F. Características e índice de combustão de briquete de carvão vegetal. 1991.
- SILVA, D. A. et al. A Influência da Umidade em Propriedades Mecânicas de Briquetes Produzidos com Resíduos de Madeira (*Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp.). *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 3, p. 1078–1086, 2017.