

PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DO RESÍDUO ÚMIDO DE CERVEJARIA

Loyane Fernandes da Silva (UnB) - loyane.engflorestal@gmail.com

Mírian de Almeida Costa (UnB) - almeida.mira@gmail.com

Ailton Teixeira Vale (UnB) - ailton.vale@gmail.com

Marcella Hermida de Paula (Instituição - a informar) - marcellahermida@hotmail.com

Robert Rossi Silva de Mesquita (Instituição - a informar) - robertflorestal@gmail.com

Resumo:

O aproveitamento da biomassa é uma alternativa vantajosa e propícia no mercado brasileiro, visto que o Brasil tem uma vasta produção agrícola, florestal e agroindustrial, que produzem grandes quantidades de resíduos. O uso adequado de resíduos agroindustriais como matéria-prima na produção de briquetes requer conhecimento prévio da composição e das propriedades desses resíduos para que a fabricação seja viabilizada, assim como as análises física e mecânica dos briquetes são essenciais para considerar seu potencial energético. O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar as características físicas e mecânicas de briquetes feitos a partir do resíduo úmido de cervejaria (RUC) em diferentes granulometrias. Foram realizadas análise imediata, análise elementar, poder calorífico superior, inferior e útil, densidade energética e resistência mecânica no sentido diametral dos briquetes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Com base na densidade energética e resistência mecânica dos briquetes, concluiu-se que eles apresentaram potencial para uso como insumo energético, e a viabilidade da produção dos briquetes pode contribuir para a gestão dos resíduos nas indústrias cervejeiras.

Palavras-chave: *Biomassa; Energia Renovável; Briquetagem*

Área temática: *Outras fontes renováveis de energia*

Subárea temática: *Caracterização, análise, equipamentos e sistemas de conversão energética da biomassa*

PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DO RESÍDUO ÚMIDO DE CERVEJARIA

Loyane Fernandes da Silva – loyane.engflorestal@gmail.com

Mirian de Almeida Costa – almeida.mira@gmail.com

Ailton Teixeira do Vale – ailton.vale@gmail.com

Marcella Hermida de Paula – marcellahermida@hotmail.com

Robert Rossi Silva de Mesquita – robertflorestal@gmail.com

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal

6. Outras fontes renováveis de energia

Resumo. *O aproveitamento da biomassa é uma alternativa vantajosa e propícia no mercado brasileiro, visto que o Brasil tem uma vasta produção agrícola, florestal e agroindustrial, que produzem grandes quantidades de resíduos. O uso adequado de resíduos agroindustriais como matéria-prima na produção de briquetes requer conhecimento prévio da composição e das propriedades desses resíduos para que a fabricação seja viabilizada, assim como as análises física e mecânica dos briquetes são essenciais para considerar seu potencial energético. O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar as características físicas e mecânicas de briquetes feitos a partir do resíduo úmido de cervejaria (RUC) em diferentes granulometrias. Foram realizadas análise imediata, análise elementar, poder calorífico superior, inferior e útil, densidade energética e resistência mecânica no sentido diametral dos briquetes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Com base na densidade energética e resistência mecânica dos briquetes, concluiu-se que eles apresentaram potencial para uso como insumo energético, e a viabilidade da produção dos briquetes pode contribuir para a gestão dos resíduos nas indústrias cervejeiras.*

Palavras-chave: Biomassa; Energia Renovável; Briquetagem

1. INTRODUÇÃO

Devido ao atual cenário energético mundial, a discussão sobre formas alternativas de energia tornou-se de grande importância, seja pelo processo acelerado de urbanização e expansão, demandando maior uso de produtos energéticos, seja pela necessidade de diminuição de emissão de gases do efeito estufa. O Brasil se destaca com uma matriz energética que, em 2017, 42,9% da produção veio de fontes renováveis, sendo 30% representada pela biomassa, a partir da lenha, carvão vegetal e derivados da cana-de-açúcar (EPE, 2018).

O aproveitamento da biomassa torna-se uma alternativa vantajosa no sentido econômico, sustentável, energético e ambiental pois a sua produção para fins energéticos é renovável, gera mais empregos e diminui a pressão sobre as fontes não-renováveis (GONÇALVES, 2006). O Brasil tem vastos setores produtivos agrícola, florestal e agroindustrial que produzem uma grande quantidade de resíduos, que necessitam de estudos que os tire da condição de resíduos descartáveis e os recolhem na condição de insumo de um novo produto (COUTO *et al.*, 2004).

Entre as possibilidades de aproveitamento destes materiais destaca-se a briquetagem, que de acordo com Quirino (2002), consiste na compactação de resíduos lignocelulósicos - serragem, maravalha, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana, entre outros – desde que sejam respeitadas determinadas especificações, como granulometria e umidade, que devem ser controladas. Assim é possível obter o briquete, que se caracteriza por ter baixos custos de armazenamento e de transporte, e apresenta alta concentração de energia por unidade de volume em comparação com a biomassa na condição *in natura*, possibilitando seu aproveitamento como matéria-prima na substituição da lenha por um produto equivalente (Schütz *et al.* 2010).

O resíduo úmido de cervejaria (RUC) é um subproduto obtido no início do processo de produção de cerveja, e consiste basicamente da casca do grão de cevada, que é obtida depois da preparação da cerveja. O RUC é usado tradicionalmente na alimentação do gado bovino ou na alimentação de aves, suínos e peixes. Sua composição pode variar de acordo com a variedade da cevada utilizada, o período do ano em que ela foi colhida, a malteação e o processo de mostura, que pode conter alguns aditivos (MUSSATTO *et al.* 2006). Considerando que a cada 100 litros de cerveja 20kg de RUC são produzidos, a disponibilidade deste resíduo no Brasil excede 2,8 milhões de toneladas por ano, já que são produzidos cerca de 14 bilhões de litros de cerveja anualmente (CERVBASIL, 2016).

Na literatura, a viabilidade da briquetagem de materiais lignocelulósicos é um tema contumaz; no entanto, o uso de outros resíduos agroindustriais menos explorados para a briquetagem ainda está em nível investigativo. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo produzir e avaliar características físicas e mecânicas de briquetes feitos a partir do RUC em diferentes granulometrias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O RUC foi coletado a partir de uma microprodução de cerveja artesanal localizada no Gama-DF. Os resíduos devem apresentar um grau de umidade entre 8% e 15%, pois o excesso de umidade ou a falta produzem um briquete que não tem estabilidade, desfazendo-se quando estocado ou transportado (Schütz *et al.* 2010). Para tanto, a secagem do material foi feita no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UnB, em estufa a 70°C por 48 horas, até atingir um teor de umidade de 9%.

2.1 Composição granulométrica

No Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro (LPF/SFB) determinou-se a composição granulométrica da biomassa de maneira mais extensiva, baseando-se na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) e utilizando o agitador de peneiras com batidas intermitentes da marca Bertel. Foram utilizadas aproximadamente 300g da biomassa e tempo de agitação de trinta minutos, usando as peneiras da série TYLER com diâmetros de abertura variando de ½ até 35 mesh.

2.2 Análise imediata

A análise imediata é composta pelos testes que quantificam o teor de material volátil, o teor de cinzas e o teor de carbono fixo de acordo com a norma NBR 8112/86 (ABNT, 1986). Todas as análises foram feitas em triplicata.

2.3 Poder calorífico

A determinação do poder calorífico superior (PCS) (kcal.kg⁻¹) seguiu a norma NBR 8633/84 (ABNT, 1984) com o auxílio de uma bomba calorimétrica PARR 6400. O poder calorífico inferior (PCI) (kcal.kg⁻¹) foi determinado conforme a Eq. (1):

$$PCI = PCS - 600\left(\frac{9*H}{100}\right) \quad (1)$$

O poder calorífico útil (PCU) (kcal.kg⁻¹) foi calculado conforme feito por Souza e Vale (2016), como mostra a Eq. (2):

$$PCU = PCI - (1 - Ubu) - 600 Ubu \quad (2)$$

2.4 Confecção dos briquetes

A etapa de confecção dos briquetes foi realizada no LPF/SFB. Utilizou-se 40 gramas da biomassa de RUC e uma prensa briquetadeira da marca Lippel modelo LB – 32, para confeccionar cada briquete, com a temperatura do ensaio controlada por um termostato a 90°C e a pressão do manômetro de 40 kgf.cm⁻² por 30 segundos. Estes parâmetros foram definidos após alguns testes pilotos, chegando-se a um briquete estruturado e que não desmanchasse. Foram confeccionados 15 briquetes com a biomassa *in natura*, e partir do pó obtido do moinho de faca, 10 briquetes com a granulometria inferior a 14 mesh e 10 briquetes com a granulometria inferior a 35 mesh, totalizando um delineamento experimental com 3 tratamentos.

2.5 Densidade energética e Resistência mecânica

A densidade energética foi obtida pelo produto entre o poder calorífico útil e a densidade aparente.

Para avaliar a resistência mecânica dos briquetes, realizou-se o ensaio de compressão no sentido perpendicular (ou sentido diametral) do briquete em uma máquina universal para ensaios Modelo EMIC DL30000, conforme a norma COPANT 30:1-011 (COPANT, 1971), com velocidade de carregamento de 0,3 mm/min.

2.6 Análise estatística

Uma análise de variância ao nível de 5% de significância foi realizada para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. Naqueles que apresentaram diferença significativa realizou-se a comparação de médias por meio do teste de Tukey a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta a distribuição das partículas em classes granulométricas após a classificação. Observou-se que a amostra de biomassa de RUC peneirada, possuiu, em sua maioria, granulometria abaixo de 4 mesh e ficou retida na peneira de ¼ mesh. Observou-se também a incidência de material agregado, onde as partículas estavam aglomeradas umas com as outras. De acordo com Nakashima *et al.* (2018), a granulometria é um fator que interfere no processo de briquetagem. Em geral, as partículas menores têm maior afinidade com a água e criam mecanismos de adesão entre elas, resultando em um produto de maior durabilidade.

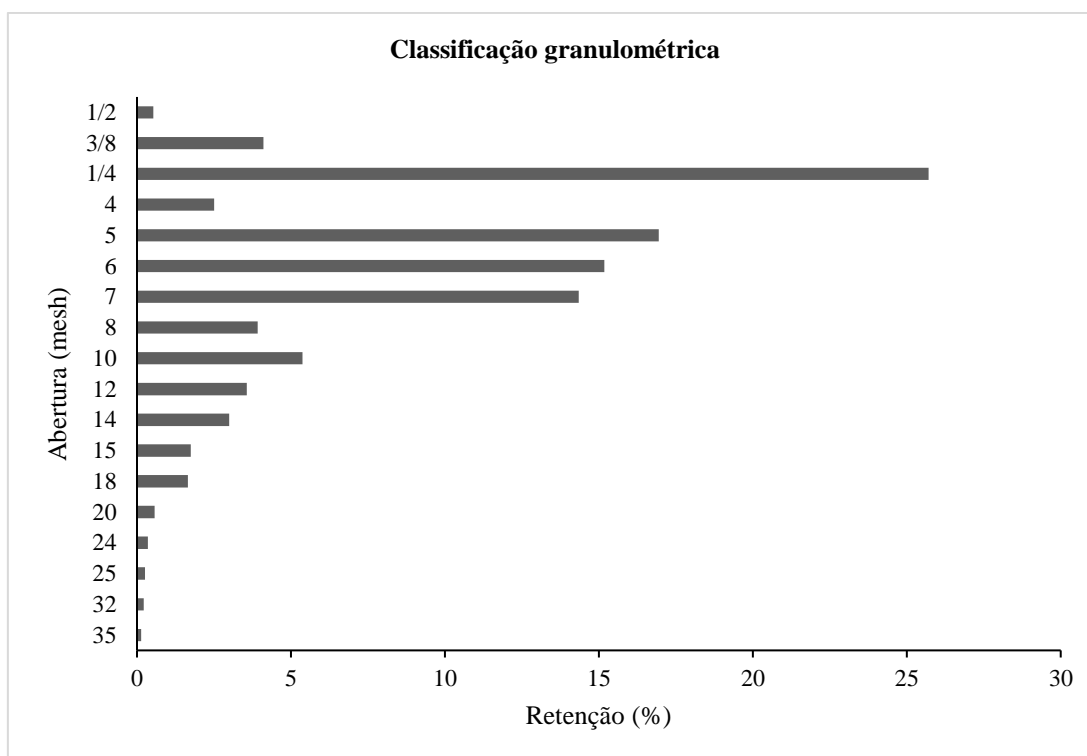


Figura 1 - Classificação granulométrica do RUC *in natura*

Os resultados da análise imediata (teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) encontram-se na Tab. 1.

Tabela 1 - Valores médios de teor de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo do resíduo *in natura*.

Análise	Valores (%)
Teor de materiais voláteis	78,22
Teor de cinzas	3,35
Carbono Fixo	18,41

Os valores encontrados estão de acordo com Gonçalves *et al.* (2014), que estudaram a produção e caracterização do carvão ativado de RUC, e encontraram na análise imediata do material seco um teor de cinzas de 3,8% e 73,18% de material volátil. Já Cordeiro (2012), que estudou a capacidade energética do bagaço de cevada em diferentes níveis de umidade para fins energéticos, encontrou valores percentuais de materiais voláteis de 95,95%, teor de cinzas de 0,74% e de carbono fixo de 3,31%, contrastando com os valores observados neste trabalho, provavelmente devido a diferença da composição do RUC, à variedade da cevada, à secagem e torra do grão, cereais adicionados ao processo empregado na cervejaria. Uma alternativa para reduzir o teor de cinzas e aumentar o poder calorífico é misturar o material com serragem de madeira.

Os resultados de poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico útil (PCU) estão apresentados na Tab. 2. Para o cálculo do poder calorífico inferior utilizou-se o teor de hidrogênio (H) de 4,29% obtido no ensaio de análise elementar, que foi menor do que aqueles encontrados por Dionízio (2017) para palha de café (5,34%) e sabugo de milho (6,03%).

Tabela 2 - Valores obtidos na análise do poder calorífico do bagaço de cevada *in natura*.

Poder Calorífico	Valores (kcal.kg ⁻¹)
PCS	4854,88
PCI	4623,22
PCU	4109,52

Cordeiro (2012) estudou a capacidade energética do bagaço de malte de cevada e encontrou valores médios de poder calorífico variando entre 2656 kcal.kg⁻¹ e 5026 kcal.kg⁻¹, semelhantes aos obtidos no presente estudo. Segundo Dantas *et al.* (2012) briquetes normalmente têm um poder calorífico entre 4000 a 4800 kcal.kg⁻¹, intervalo que foi superado pelo valor obtido no trabalho, indicando a viabilidade deste material para fins energéticos.

Os valores médios de densidade aparente (g.cm⁻³), densidade energética (Gcal.m⁻³) e resistência à compressão perpendicular (kgf.cm⁻²) dos briquetes produzidos estão apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 -Características físicas, mecânicas e energéticas dos briquetes.

Tratamento	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Densidade energética (Gcal.m ⁻³)	Resistência Mecânica (kgf.cm ⁻²)
<i>In natura</i>	1.19 (0,61)	4,90 a (3,48)	124,79 a (3,47)
< 14 mesh	1.18 (1,43)	4,87 a (1,43)	102,95 b (5,50)
< 35 mesh	1.21 (1,05)	4,99 a (1,05)	130,99 a (7,54)

Valores assinalados com letras diferentes, dentro da mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Os valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação.

Souza e Vale (2016) encontraram valores de densidade energética de briquetes de cumaru de 4,67 Gcal.m⁻³ e de tauari de 4,51 Gcal.m⁻³; nos briquetes com bagaço de cana encontraram 4,33 Gcal.m⁻³ e na torta de pinhão manso chegaram a 4,14 Gcal.m⁻³. Observa-se que os resultados obtidos pelos autores citados e os alcançados neste estudo são compatíveis e chegam a ser mais elevados que os valores encontrados na literatura, mesmo para os resíduos madeiros. Deste modo, infere-se que o resíduo estudado tem potencial energético e pode ser considerado uma alternativa de biomassa para geração de energia.

Pelo teste de média observa-se que não houve diferença significativa entre a densidade energética dos briquetes. Neste sentido pode-se deduzir que o resíduo *in natura* pode ser utilizado para produção de briquetes, não sendo necessário realizar a moagem, obtendo briquetes com bom potencial energético e pode ser considerado como uma alternativa de utilização desta biomassa para geração de energia.

Quanto a resistência mecânica observa-se que os briquetes produzidos com resíduo *in natura* e com granulometria abaixo de 35 mesh, não diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade. Em valores absolutos o briquete produzido com material de granulometria abaixo de 35 mesh foi mais resistente que os demais. Partículas menores têm maior área de contato e se acomodam melhor, auxiliando na transferência de calor entre elas, conforme verificado por Souza (2014). Os briquetes com granulometria mediana foram os que apresentaram a menor resistência, diferindo significativamente dos outros dois tratamentos.

Em geral os briquetes confeccionados apresentaram boa estrutura, no entanto em alguns observou-se rachaduras e esfrelamento superficiais; principalmente aqueles produzidos a partir de cevada com granulometria < 14 mesh.

4. CONCLUSÃO

O material apresentou as propriedades favoráveis à briquetagem e, portanto, à geração de energia.

A granulometria não interferiu de maneira significativa em relação à densidade energética, em contrapartida afetou a resistência mecânica.

O material pode ser briquetado em baixa temperatura e pressão, o que representa economia de recursos e energia.

Com os resultados pôde-se constatar que não é necessário moer o material para briquetagem, podendo realizar a briquetagem com o material *in natura*, aumentando assim a economia de energia.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade de Brasília e ao Departamento de Engenharia Florestal pelo ensino, apoio e suporte com todos os materiais e equipamentos necessários. Ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro pela

disponibilidade de uso das instalações e equipamentos e aos servidores pelo apoio técnico. E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para conclusão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas., 1986. NBR 8112: Análise imediata. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas., 1984. NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas., 2003. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.
- Cervbrasil. 2016. Anuário 2016. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria da Cerveja.
- COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas. Ensaio para madeira. Compressão perpendicular às fibras COPANT 30:1-011. 1971.
- Cordeiro, L.G., 2012 Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró – RN, v.7, n.3, p. 20-22.
- Couto, L. C.; Watzlawick, L.F.; Câmara, D., 2004. Vias de valorização energética da biomassa. Biomassa & Energia, v. 1, n. 1, p. 71–92.
- Dantas, A. P.; Santos, R. R.; Souza, C. S.O., 2012. Briquete como combustível alternativo para a produção de energia. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Goiânia/GO.
- Dionizio, A. F. Aproveitamento energético de resíduos agroindustriais no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2018). Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. Rio de Janeiro. 292p.
- Gonçalves, J. E., 2006. Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.
- Gonçalves, G. C.; Nakamura, P. K.; Veit M. T., 2014. Produção e caracterização de carvão ativado obtido a partir dos resíduos da indústria cervejeira. X Encontro Brasileiro sobre Adsorção. Guarujá-SP.
- Morais, M.R. *et al.*, 2006. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação An. 6. Enc. Energ. Meio Rural.
- Mussato, S.I., Dragone, G., Roberto, I.C., 2006. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. Journal of Cereal Science: 43, 1-14.
- Nakashima, G.T. *et al.*, 2018. Briquetes produzidos a partir do aproveitamento de resíduos provenientes do aterro de resíduos inertes da cidade de Sorocaba. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.7, n.2, p. 231- 243.
- Quirino, W. F., 2002. Utilização Energética de Resíduos Vegetais – MMA, DIREF, LPF. Brasília.
- Schütz, F. C. A.; Anami, M. H.; Travessini, R., 2010. Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria. Inovação e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 1-8.
- Souza, F., 2014. Avaliação da qualidade de briquetes produzidos com seis biomassas agrofloretais por métodos não destrutivos. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 48/2014, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Souza, F. Vale, A. T., 2016. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413.

PRODUCTION OF BRIQUETTES FROM WET BREWERY WASTE

Abstract. *The use of biomass is an advantageous and favorable alternative in the Brazilian market, since Brazil has a vast agricultural, forestry and agro-industrial production, which produce large amounts of waste. The proper use of agro-industrial waste as a raw material in briquette production requires prior knowledge of the composition and properties of the waste so that the manufacture of the briquettes is made feasible, as well as the analysis of the physical and mechanical properties of briquette is essential to assess your potential for energy purposes. The aim of this work was to produce and evaluate physical and mechanical characteristics of briquettes made from brewer's spent grain (BSG), by performing proximate analysis, ultimate analysis, higher, lower and net calorific value, energy density and mechanical strength of briquettes in diametral direction. The data were subjected to ANOVA followed by Tukey's multiple comparison test. Based on the values of energy density and mechanical strength of the briquettes, it was concluded that they have potential for use as energy input, and the feasibility of production of briquette may contribute to waste management in brewery industries.*

Key words: Biomass, Renewable Energy; Briquetting