

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO CELULÓSICO NA COMPOSIÇÃO DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL

Elizabeth Lemos Benicio, Mestre em Ciências Ambientais e Florestais; Brasil, UFRRJ-Rod, BR 465 km 07, Seropédica/RJ, 23890-000. beth.benicio@yahoo.com.br. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Pablo Vieira dos Santos, Ananias Francisco Dias Júnior, Rodrigo Braga de Almeida, Alexandre Monteiro de Carvalho

1. Introdução

A demanda crescente por recursos energéticos pelo fato do ser humano buscar bens e a necessidade de se pensar em tecnologias sustentáveis para produção de energia reaproveitando recursos, que em algum momento já foram considerados como “lixo” ou um problema ambiental, é um desafio que precisa de alternativas para não se desfazer de um resíduo sem tirar proveito algum dele como, por exemplo, a incineração sem a preocupação de recuperação de energia.

O uso dos resíduos agro-florestais para fins energéticos, por meio da briquetagem é do ponto de vista ambiental uma forma de se gerar energia limpa e renovável, levando-se em conta a não emissão de agentes poluentes e a redução dos desmatamentos indesejáveis. Vislumbra-se uma série de vantagens sócio-econômicas e ambientais para os países que investem na produção e comercialização de combustíveis a partir de resíduos agro-florestais (BEZZON, 1997).

Destacam-se entre os resíduos agro-florestais utilizados nos processos de compactação para fins energéticos, o bagaço e a palha de cana, os resíduos da madeira e os do carvão.

A briquetagem consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligante, e com ou sem tratamento térmico posterior. No caso do carvão vegetal, usa-se geralmente, um ligante que pode ser de várias naturezas, porque esta é a maneira mais econômica de compactá-lo. A briquetagem do carvão vegetal na forma de finos se faz através da compactação de uma mistura destes finos de carvão com um aglutinante, dentro de matrizes ou moldes, onde o aglutinante deve proporcionar a coesão desta mistura. É importante que se leve em consideração alguns aspectos importantes para produção destes briquetes como a afinidade entre as partículas dos finos de carvão e o aglutinante.

Um fator importante que se deve levar em consideração é a composição química do aglutinante, que deve ser isenta de compostos que na combustão podem favorecer a produção de gases tóxicos. No caso do briquete ser utilizado para fins industriais, mais especificamente para indústria siderúrgica, ele também deve funcionar como termorreduzidor.

Normalmente os briquetes de carvão vegetal são utilizados para uso domésticos. Para diferentes usos o briquete também deve apresentar diferentes

propriedades químicas, físicas, mecânicas, geométrica, teor de umidade, entre outras.

Costuma-se utilizar freqüentemente na produção destes briquetes amido industrial de milho não-refinado, sendo que um briquete para uso doméstico típico contém normalmente 85% de carvão vegetal, 6 a 10% de aglutinante (amido) e 5 a 8 % de umidade. Os briquetes apresentam geralmente forma quadrada, com os cantos arredondados (tipo almofada), volume de 30cm³ e densidade na faixa de 0,4 a 0,7g/cm³. (FONTES *et al.*, 1984)

Desta forma, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a fabricação de briquetes de finos de carvão vegetal utilizando, adicionalmente, em sua composição, o material residual da indústria de papel e celulose chamados ao longo deste estudo de “resíduo celulósico”.

Na realização dos procedimentos metodológicos o trabalho teve ainda os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a utilização do resíduo celulósico, em substituição parcial e total ao amido de milho industrial, utilizado tradicionalmente como aglutinante para a briquetagem de finos de carvão vegetal;
- Caracterizar através de ensaios físico-químicos os briquetes produzidos;
- Avaliar o processo de briquetagem dos finos de carvão vegetal e desenvolver a técnica utilizada através dos equipamentos disponíveis para a pesquisa;
- Discutir a utilização conjunta de dois resíduos industriais na obtenção de um novo produto a partir da briquetagem.

2. Materiais e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro junto aos Laboratórios de Processamento Mecânico de Madeira (armazenamento de material e medições), Laboratório de Energia da Madeira (confecção dos briquetes e análise química imediata) e Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira (ensaios físico-mecânicos), ambos pertencentes ao Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, DPF/IF/UFRRJ. As etapas seguintes foram:

2.1 Obtenção e preparação dos finos de carvão vegetal e resíduo celulósico

Os resíduos de finos de carvão vegetal que serviram de matéria-prima para o confecção dos briquetes avaliados no estudo foram provenientes de moinha de carvão vegetal de eucalipto limpa, pulverizada a partir de carvão vegetal “graúdo” da Empresa Eco-Briquetes, situada no município de Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro. A Figura 1 do anexo apresenta detalhes dos briquetes produzidos pela Eco-briquetes.

Para a pesquisa, a moinha coletada foi previamente fragmentada e utilizou-se de uma peneira classificatória com malha de porosidade igual a 3,0 mm para homogeneização do material.

Depois de obtida a granulometria desejada determinou a sua umidade. Estes teores de umidade foram obtidos pesando as três amostras e colocando na estufa regulada a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e pesadas até que se obtivesse a estabilidade. O resíduo celulósico foi coletado na indústria de papéis Schweitzer-Mauduit do Brasil, situada no município de Barra do Piraí, no Estado do Rio de Janeiro.

2.2 Confeção dos briquetes

A avaliação da hipótese sugerida neste trabalho, de utilizar resíduo celulósico como componente adicional aos briquetes de finos de carvão vegetal, ao longo da confecção dos briquetes foram consideradas uma etapa.

Nessa etapa do trabalho a composição dos briquetes considerou porcentagens de resíduo celulósico de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, adicionalmente a 10% de amido de milho, ainda utilizado na função de aglutinante do briquete.

Além da moinha de carvão vegetal e o resíduo celulósico, na mistura foi acrescentado o “mingau gelatinoso” de amido de milho que foi preparado utilizando 20g de amido dissolvido em 50 ml de água, que foi acrescentado em 75 ml de água fervente para atingir a textura desejada da gelatinização, a partir deste procedimento foram feitas, nas proporções desejadas, as demais bateladas do “mingau gelatinoso” (Figura 2 do anexo).

Os briquetes foram efetivamente produzidos em uma composição de equipamentos formados por uma prensa manual marca RIBEIRO-15ton e um molde de aço inox desenvolvido pelo Laboratório de Energia da Madeira do DPF/IF/UFRRJ. O sistema produziu um briquete por vez, sendo que foram produzidos um total de 20 briquetes para cada tratamento.

Os briquetes foram produzidos em formato de “pequenas almofadas” (Figura 3 do anexo). As dimensões da forma utilizada foram de 50 mm de diâmetro por 17 mm de concavidade. A pressão máxima aplicada nos briquetes foi de 13 toneladas, mantida durante 5 minutos.

2.3 Densidade aparente

A determinação da densidade aparente dos briquetes foi realizada através da adaptação da metodologia descrita por Trugilho *et al.* (1990), para determinação da densidade de amostras de madeira, através do método de imersão e variação do peso do líquido.

No caso dos briquetes avaliados neste trabalho, cada um deles foi envolvido em um filme plástico para impermeabilização, que evitou que ocorresse a umidificação da amostra. Assim, os briquetes foram, um a um, submersos em um becker contendo água sobre uma balança.

Na determinação da densidade aparente, todos os briquetes produzidos no trabalho foram avaliados um a um.

2.4 Umidade de equilíbrio higroscópico

Para o controle da umidade dos briquetes, metade dos briquetes de cada tratamento foram deixados ao ar livre e metade foram levados a estufa regulada a 103°C para serem secos efetivamente. Após isso determinou-se a umidade de cada um onde posteriormente permaneceram em câmara climatizada a 65% de umidade relativa e 20°C por cerca de 90 dias até apresentarem peso constante e teor de umidade de equilíbrio com aquele ambiente estabelecido na câmara.

Ao longo da realização dos procedimentos de análise química imediata, os teores de umidade de equilíbrio apresentados pelos diferentes tratamentos foram determinados, onde se verificou a baixa variação do teor de umidade de equilíbrio entre os briquetes, em torno de 10% de U%.

2.5 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas - DPF/IF/UFRRJ para determinar o comportamento mecânico do briquete quando submetido a uma determinada carga ou esforço.

No teste de aplicação de carga foi utilizada a máquina universal de ensaios, marca Contenco, modelo UMC-300, com capacidade de 30 toneladas, que utiliza o software Pavitest ao longo da realização dos testes e determinação dos resultados. A célula de carga utilizada foi de 10 toneladas, sendo avaliados três briquetes como repetições de cada tratamento (Figura 4).

2.6 Análise química imediata

A moinha de cada briquete foi peneirada utilizando duas peneiras classificatórias, sendo uma superior a 40 mesh e outra inferior a 60 mesh. Para as análises subseqüentes, utilizaram-se as frações que atravessaram a peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh.

Para a realização da análise química imediata utilizou-se a metodologia e procedimentos descritos pelas normas ASTM 1762/1964 (adaptada por Oliveira *et al.*, 1982) e ABNT NBR 8633/84 (1984). Dessa forma, determinou-se neste, a umidade, teores voláteis, teor de cinzas e porcentagem de carbono fixo.

2.7 Teste de tamboramento

O objetivo do teste de tamboramento foi determinar a resistência dos briquetes frente à ação combinada entre a abrasão e a queda, apresentando assim o índice de friabilidade e produção de finos quando este material é submetido às ações mecânicas que simulam o manuseio, transporte e empilhamento.

O teste consiste em submeter um tambor com briquetes previamente pesados a um número determinado de rotações com velocidade pré-fixada e constante. Após o período de rotação estes briquetes são submetidos a peneiras com malhas de diferentes tamanhos, 25mm, 15mm, 5mm, 1,5mm e 1mm.

Os briquetes foram avaliados no tamboramento seguindo as condições de 30 rpm na rotação do tambor durante 2 minutos, sendo avaliadas três repetições para cada tratamento.

2.8 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior de um combustível determina a quantidade de energia que está disponível no material e que é liberada em câmara de combustão através de uma reação química. Quanto maior for o poder calorífico maior é a energia do combustível (JARA, 1989).

No presente trabalho, para a caracterização do poder calorífico superior foi utilizada a norma ABNT NBR 8633/84 com o auxílio de um calorímetro de marca Ika Werke, modelo C5000 Control, sendo os ensaios realizados ao longo de uma parceria estabelecida entre o Departamento de Produtos Florestais - IF/UFRRJ, a UFSCar - Campus de Sorocaba/SP e o Laboratório de Tecnologia de Extrativos Florestais da UNESP - Universidade Estadual Paulista- Campus de Itapeva/SP.

3. Resultados e discussão

A seguir são apresentados os resultados obtidos para cada ensaio realizado nos briquetes obtidos no estudo.

3.1 Densidade aparente

Resultados médios de densidade aparente (g/cm^3) dos briquetes produzidos, considerando a interação entre os fatores teor de resíduo celulósico e processo de secagem, se encontram na Tabela 1 no anexo.

Tanto nos briquetes secos em estufa quanto nos secos ao ar livre a testemunha apresentou valores estatisticamente superiores nos resultados de densidade aparente, principalmente nos valores dos briquetes secos em estufa, onde se percebeu a tendência estatística de diminuição da densidade a partir da elevação do teor de resíduo celulósico nos briquetes.

3.2 Resistência à compressão

A Tabela 02 em anexo apresenta os resultados obtidos para a variável resistência à compressão, representada pela carga de ruptura de cada briquete em kgf, dos briquetes .

Novamente foi possível, através dos resultados obtidos, observar a relação entre a densidade e a resistência mecânica dos briquetes.

Através dos resultados da Tabela 02, pôde-se observar que os briquetes apresentaram valores mais próximos à referência do trabalho de Quirino (1989), que indica valores de carga de ruptura próxima a 70kgf para os briquetes de carvão. Nos resultados os coeficientes de variação foram maiores, indicam maior heterogeneidade das repetições e briquetes, e sugerindo que os procedimentos de manufatura dos briquetes podem ter tido maior variação, possivelmente por envolverem a junção do amido, moinha de carvão e resíduo celulósico.

3.3 Granulometria - ensaio de tamboramento

Após os ensaios de tamboramento aplicados aos briquetes, foram determinadas as porcentagens referentes às massas de material retido nas peneiras de 25mm, 15mm, 5mm, 1,5mm, 1mm e material menor que 1mm.

O teste de tamboramento evidenciou a eficiência do amido na função de aglutinante, contudo observou-se que o resíduo celulósico junto ao amido apresentou uma boa interação e bons resultados no quesito friabilidade, no tratamento onde foi inserido 5% de resíduo celulósico o comportamento do briquete fugiu do esperado, mas este fato pode ser atribuído a uma provável falha na compactação.

3.4 Poder Calorífico Superior

Em comparação aos briquetes desta análise observou-se que quanto à porcentagem de resíduo celulósico, os resultados não diferiram estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey ao nível de 5%, mas em relação à forma de secagem foi constatada diferença significativa no briquete que foi produzido com 20% de teor de resíduo celulósico.

3.5 Análises químicas imediatas

Observou-se que o teor de materiais voláteis teve um crescente aumento conforme foi aumentada também a porcentagem de resíduo celulósico nas amostras dos briquetes com 25%, 30% e 35%. Nas amostras com 40% e 45% apesar do resultado fugir um do comportamento linear crescente esperado, ainda assim ocorreram valores próximos.

Segundo Juvillar (1980), o carvão vegetal (base seca) apresenta em média a composição química de 5% em teor de cinzas, 25% em teor de materiais voláteis e 70% em teor de carbono fixo.

As cinzas constituem material de origem mineral, não-orgânica, inerte e não-combustível. O teor de carbono fixo e o poder calorífico dependem da quantidade de material orgânico presente no combustível (QUIRINO,1991).

3.6 Correlações

Podemos observar através da Figura 5 do anexo que a alta correlação obtida entre a densidade e a carga de ruptura, comprovando a informação de que quanto maior for a densificação conseguida no processo de briquetagem, maior a capacidade do briquete suportar carga. Os briquetes apresentaram densidades bastante elevadas o que conseqüentemente leva a maiores resistências, fato que pode ser explicado pela presença do aglutinante tradicional, amido de milho, na composição dos briquetes.

4. Conclusões e recomendações

De acordo com os resultados obtidos através dos ensaios propostos dos briquetes de finos de carvão vegetal, pode-se concluir que:

- os briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e resíduos celulósicos se mostraram uma fonte viável para geração de energia e aproveitamento destes materiais, gerados como sub-produtos do mercado de carvão vegetal e da indústria de papel e celulose;

- a utilização conjunta do amido de milho como aglutinante e do resíduo celulósico pode ser realizada, produzindo em determinadas composições, briquetes resistentes e de boa qualidade;

- os briquetes analisados se mostraram uma alternativa interessante no aproveitamento conjunto de dois tipos de resíduos, contribuindo para uma melhoria na gestão ambiental dos processos citados como geradores destes materiais (indústria de papel e celulose e segmentos consumidores de carvão vegetal);

- o processo de secagem em estufa, de uma maneira geral, prejudicou a qualidade dos briquetes, sendo que em processos industriais deve-se analisar com cautela a necessidade de diminuir por demais o tempo da secagem, pois o que foi observado no presente trabalho é que a secagem ao ar livre obteve melhores resultados;

5. Referências Bibliográficas

BEZZON, G. Métodos de compactação de biomassa. In: **Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa**. Manaus: EDUA/EFEI, 1997, p39-57.

FONTES, P. J. P. de; QUIRINO, W. F.; PASTORE JR., F.; FILGUEIRAS, S. M. S. **Agglutinante para briquetagem de carvão vegetal**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais/DPQ/IBDF, 1984.

JARA, E.R.P.; **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.
(Comunicação Técnica, n. 1797)

JUVILLAR, J.B.; **Tecnologias de transformação de madeira em carvão**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC - Série de Publicações Técnicas / SPT – Belo Horizonte, 1980.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. Belo Horizonte, fundação CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1982.

QUIRINO, W. F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Piracicaba, Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991, 64p.

QUIRINO,W. F.,OKINO,E. Y. A. **Aspectos Técnicos da Briquetagem do Carvão Vegetal no Brasil.** Laboratório de Produtos Florestais -LPF - Série Técnica N° 1, Brasília, 1989,14p.

TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A.; FRAZÃO, F.J.L.; MATOS, J.L.M. **Comparação de métodos de determinação de densidade básica em madeiras.** ACTA AMAZÔNICA, 20 (único): 307-319. 1990.

ANEXO



Figura 1. Detalhes da produção de briquetes de carvão vegetal da empresa Eco-briquetes, de Volta Redonda/RJ.



Figura 2. “Mingau gelatinoso” de amido de milho.



Figura 3. Briquetes produzidos em formato de uma pequena almofada.



Figura 4. Máquina universal de ensaios Contenco UMC 300.

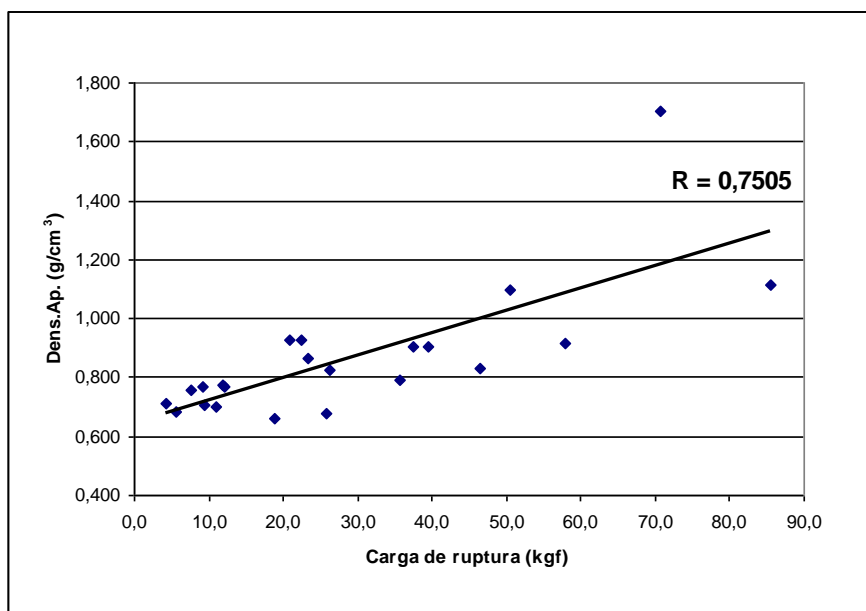


Figura 5. Gráfico da correlação entre a densidade aparente e a carga de ruptura encontrada no ensaio de resistência à compressão dos briquetes (R = coeficiente de correlação).

Tabela 1:

Teor de resíduo celulósico	Processo de secagem	
	Estufa	Ar livre
Testemunha 0%	1,701 (15,61) aA	1,117 (26,04) aB
5%	1,097 (7,68) bA	0,914 (7,15) bB
10%	0,927 (17,04) bcA	0,906 (11,17) bA
15%	0,926 (8,36) bcA	0,903 (9,98) bA
20%	0,866 (5,15) cA	0,829 (6,11) bA
25%	0,825 (21,18) cA	0,790 (7,87) BA

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas avaliam as médias da mesma coluna, letras maiúsculas as médias da mesma linha. Os valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Tabela 2:

Resultados médios de resistência à compressão (carga de ruptura em kgf) dos briquetes produzidos, considerando a interação entre os fatores teor de resíduo celulósico e processo de secagem:

Teor de resíduo celulósico	Processo de secagem	
	Estufa	Ar livre
Testemunha 0%	70,8 (44,90)	85,4 (27,59)
5%	50,6 (29,89)	57,8 (45,75)
10%	22,4 (28,69)	39,6 (57,99)
15%	20,8 (15,73)	37,4 (37,89)
20%	23,4 (13,38)	46,4 (41,14)
25%	26,2 (27,71)	35,6 (43,23)

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo.