

Caracterização de briquetes produzidos com cascas de eucalipto e rejeitos de papel e celulose

Aderbal Batista Ilha Filho (1), Marcos Roberto Teixeira Halasz (2), Alfredo Akira Ohnuma Jr. (3)

(1) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: ilhafilho@uol.com.br

(2) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: halasz@fsjb.edu.br

(3) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: akira@fsjb.edu.br

Resumo: Segundo vários autores, para se atender as crescentes necessidades humanas é necessário a utilização de equação desbalanceada: retirar, consumir e descartar. A transformação dos resíduos destes descartes em combustíveis sólidos, através do uso da tecnologia de briquetagem é defendida por autores como QUIRINO (1991), GONÇALVES et al. (2009) e ZAGO et al. (2010) como uma solução viável para o crescente acúmulo de resíduos vegetais. Neste contexto o presente estudo tem como meta caracterizar os briquetes produzidos com cascas de eucalipto e resíduos de papel e celulose (agente aglomerante), analisando-o como combustível e comparando-o com seus pares produzidos com aglomerantes mais comuns e tradicionais usados na briquetagem comercial, o amido e o melaço. Desta forma foram confeccionados briquetes de cascas de eucalipto contendo como aglomerantes os diversos materiais citados anteriormente. De posse dos briquetes foram avaliadas, utilizando as normas ABNT e testes estatísticos, suas propriedades como umidade e poder calorífico, de forma a avaliar sua propriedade energética. Os resultados finais demonstram que o novo briquete (PC = 3,674kcal/kg e U = 14,9%) produzido apresenta vantagens quando comparado a lenha tradicional (PC = 3,100kcal/kg e U = 25,0%) e outros tipos de briquetes isentos (PC = 3,631kcal/kg e U = 12,7%) ou com composto aglomerantes tradicionais; melaço 4% (PC = 3,471kcal/kg e U = 13,6%), amido (PC = 3,741kcal/kg e U = 15,4%). Além disso, o fato dos dois componentes principais do novo briquete serem resíduos de processos industriais, mostra que tal produto é ambientalmente correto.

Palavras-chave: briquetes, lenha ecológica, poder calorífico, casca de eucalipto.

Abstract: According to some authors, to take care of the increasing human beings necessities, it's necessary the use of unbalanced equation: to remove, to consume and to discard. The transformation of the residues of these discarding in fuels solid, through the use of the briquetting technology is defended by authors as QUIRINO (1991), GONÇALVES et al. (2009) and ZAGO et al. (2010) as a viable solution for the increasing accumulation of vegetal residues. In this context the present study has as objective to characterize briquettes produced with eucalyptus bark and residues of paper and cellulose (agglomerative agent), being analysed it as combustible and comparing it with its pairs produced with used more common and traditional binders in the commercial briquetting, the starch and the molasses. Then, it had been confectioned briquettes of eucalyptus bark contend as agglomerative the diverse cited materials previously. With these briquettes, they had been evaluated, using statistical norms ABNT and tests, its properties as humidity and calorific power, of form to evaluate its energy property. The final results demonstrate that the new briquette (PC = 3,674kcal/kg and U = 14,9%) produced presents advantages when comparative the traditional firewood (PC = 3,100kcal/kg and U = 25,0%) and other types of traditional exempt briquettes (PC = 3,631kcal/kg and U = 12,7%) or with composition agglomerative; molasses 4% (PC = 3,471kcal/kg and U = 13,6%), starch (PC = 3,741kcal/kg and U = 15,4%). Besides, the fact of the two main components of the new briquettes to be residues of industrial processes sample that such product is ambiently correct.

Key-words: briquettes, ecological firewood, calorific power, eucalyptus bark.

1. INTRODUÇÃO

O processo de densificação ou briquetagem surgiu de acordo diversos autores em 1848 quando uma patente para um método de conversão de finos de carvão em torrões sólidos foi concedida ao americano William Easby. Segundo RENDEIRO (2006) este processo pode ser desmembrado em quatro etapas básicas: preparação, mistura, compactação e tratamento final. Sendo que algumas destas podem ser englobadas por outras ou totalmente suprimidas, dependendo da matéria-prima usada, do maquinário e/ou da escala de produção.

A primeira etapa abrange toda a adequação da matéria-prima a linha de produção. Normalmente é iniciada com a

trituração, que tem com função básica transformar a matéria-prima em um material de baixa granulometria e adequá-lo ao processo de compactação. A correção do teor de umidade geralmente é realizada através de fornos e unidades de secagem. A segunda etapa é considerada como a mais crítica para o processo de briquetagem. Abrange todos os procedimentos de mistura de aglomerantes, caso estes sejam necessários, sendo muito comum em processo de briquetagem a baixas pressões ou materiais inertes. Para o processo de briquetagem de resíduos de madeira, os aglomerantes mais encontrados na literatura são o amido e o melaço. No caso do amido, a simplicidade de sua preparação e uso, bem como o baixo custo e fácil aquisição o tornam um aglomerante interessante. No caso do melaço, já que estes aderem às superfícies das partículas sólidas gerando fortes ligações muito semelhantes às ligações formadas pelo conjunto partícula e aglomerante natural que contenha lignina ou proteína, conseguem gerar um material de boa qualidade.

A terceira etapa do processo de briquetagem pode ser realizada basicamente de duas maneiras diferentes. A primeira consiste na compactação da mistura ao natural e geralmente dispensa as etapas do tratamento do material e trituração, pois aplica altas pressões e temperaturas para aglomerar as partículas. A segunda forma consiste na compactação da mistura a baixas pressões, neste processo as etapas de preparação do material e trituração têm grande importância e normalmente é utilizado um aglomerante.

A etapa final do processo de briquetagem consiste na desmoldagem, secagem, resfriamento, cura e embalagem do produto. Normalmente produções em maior escala, ocorre por meio mecânico no próprio maquinário. A secagem depende da temperatura de operação e da umidade final desejada para o produto. Na prática mostra-se necessária para eliminar a umidade dos briquetes de resíduos vegetais e evitar a colagem de uns sobre os outros.

Os resíduos de eucalipto no Brasil, provém em sua grande maioria segundo DOMINGUES et al. (2010) das variedades *Eucalyptus Grandis* e da *Eucalyptus Urograndis*. As mais cultivadas do país, representando cerca de 3.75 milhões de hectares no país, com um aumento de 41% nos últimos 5 anos da área plantada, demonstrando a tendência crescente na exploração da espécie. Para os autores o resíduo mais comum e interessante do eucalipto é a casca, já que esta pode ser explorada sem afetar os atuais processos industriais iniciais como a produção de celulose e papel, reduzindo assim o fluxo de resíduos gerado. Desta forma é imprescindível encontrar uma maneira de utilizar este resíduo no sentido de redução do impacto ambiental gerado pelo seu descarte na natureza, sendo a sua transformação em briquetes uma ótima oportunidade.

A qualidade de um briquete está diretamente ligada ao seu poder calorífico e que este por sua vez está ligado ao teor de umidade da matéria-prima usada. Um teor de umidade de acima de 20%, pode reduzir o poder calorífico, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape, gerando um produto final de segunda linha.

Autores indicam que para que um determinado briquete se torne um produto competitivo no mercado, é necessário que seu poder calorífico esteja dentro dos padrões desejados para as finalidades às quais ele se destina, seja em caldeiras, fornalhas ou na geração de eletricidade. Para tanto, sendo conveniente observar de perto o teor de umidade deste e que este esteja entre a faixa de 10 a 15% para que não haja perda de qualidade no produto final como combustível.

De acordo com GENTIL (2008), apesar da falta de padronização na produção de briquetes no Brasil prejudicarem crescimento do mercado interno e acabar por levar a uma busca constante por indicadores de qualidade. Existe boa demanda por briquetes de todos os tipos, suas pesquisas apontam que os briquetes com maior nível de energia feitos em Santa Catarina e no Paraná, podem atingir preços de até US\$ 217 por tonelada. Sendo que mesmo aqueles considerados inferiores ou de segunda linha, que apesar de ter bons níveis de energia, apresentam menor aproveitamento na queima também tem mercado garantido. De acordo com o autor a taxa de crescimento no Brasil da demanda por briquetes é de 4,4% ao ano, fato que demonstra sua viabilidade.

O presente trabalho tem como meta caracterizar os briquetes de casca de eucalipto, analisando-os como combustível, mensurar sua qualidade como produto e determinar a viabilidade de sua produção a um baixo custo. Desta maneira fornecendo uma possível solução para a problemática do acúmulo de resíduos gerados nas plantações comerciais de eucalipto e nos descartes da indústria de papel e celulose da região norte do estado do Espírito Santo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A casca de eucalipto utilizada nos experimentos deste trabalho constitui um resíduo originário das plantações de eucaliptos e do processo de produção da celulose e papel das indústrias da região do norte do estado do Espírito Santo. O material, aproximadamente de 25 Kg, foi coletado de diversas áreas das pilhas de casca de uma indústria de papel e celulose da região e acondicionado em sacos de plásticos.



Após uma verificação a procura de quaisquer materiais estranhos, o material foi posto ao sol para secar por cinco dias em bandejas de alumínio, longe de áreas sombreadas, não sendo protegida a noite ou resguardada de qualquer maneira. Este material agora denominado como casca seca, foi triturado em moinho de lâminas e armazenado em sacos plásticos novos para conservar o teor de umidade.

A fabricação dos briquetes deu-se em quatro lotes de produção, onde foram fabricados 10 tipos de briquetes. A compactação do material utilizou uma prensa manual de baixa pressão construída baseada no projeto de DAHLMAN e FROST (2001), utilizando madeira recuperada de construções conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 – Prensa Manual

A matéria prima para todos os briquetes foi triturada e passada pela peneira com abertura de 1 milímetro, sendo então armazenada em sacos plásticos lacrados. Todas as pesagens de matéria-prima e aglomerantes foram realizadas em balança de precisão.

Dada às informações colhidas na pesquisa bibliográfica, os aglomerantes utilizados foram o amido, o melaço e os resíduos do processo de fabricação de papel. Logo após o termino da produção, todos os briquetes foram numerados e embalados em sacos plásticos individuais a fim de preservar o teor de umidade, para que fossem determinados através de ensaios físicos a umidade e o poder calorífico. Na Tabela 1 é possível observar as diversas composições de briquetes montadas durante o trabalho.

Tabela 01 – Composição dos briquetes produzidos com cascas de eucalipto.

| Briquetes produzidos | Aglomerante usado |
|--------------------------------|--|
| Casca seca | Nenhum |
| Casca seca e amido | Amido e água (proporção de 1 parte de fécula para 3 de água) |
| | Amido e água (proporção de 1 parte de fécula para 2 de água) |
| | Amido e água (proporção de 1 parte de fécula para 4 de água) |
| Casca seca e melaço | 2% de melaço |
| | 4% de melaço |
| | 8% de melaço |
| | 10% de resíduos de papel |
| Casca seca e resíduos de papel | 20% de resíduos de papel |
| | 30% de resíduos de papel |

As amostras de briquetes novamente foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados e encaminhadas para a realização dos testes de poder calorífico e teor de umidade. Sendo neste primeiro utilizado um calorímetro isotérmico IKA C4000 conforme pode ser visto na Figura 2, o poder calorífico foi determinado por meio da metodologia estabelecida na norma ABNT NBR 08628.



Figura 2 – Calorímetro isotérmico IKA C4000

O método utilizado para a determinação do teor de umidade das amostras de briquetes baseou-se na diferença de massa antes e depois da secagem em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura até obtenção de massa constante, segundo a norma da ABNT NBR 8112.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostraram que produzir briquetes a partir das cascas do eucalipto, utilizando apenas prensas manuais de baixa tecnologia com pouca pressão é totalmente viável. Além disso, dependendo do uso ou não de aglomerante na mistura o processo de produção pode se tornar extremamente rápido e simples. Sendo válido ressaltar que todos os testes foram realizados em triplicata para assegurar a confiabilidade dos resultados.

Os resultados obtidos para os briquetes produzidos neste trabalho estão apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5. Nestas tabelas são apresentados além dos valores médios obtidos, o coeficiente de variação de Pearson, definido como o desvio-padrão em porcentagem da média, e a classificação de GARCIA (1989) que realizou experimentos com eucalipto, indicando que coeficientes de variação entre 10% e 20% são considerados normais, valores menores que 10% são considerados baixos, médios entre 20% e 30% e altos acima de 30%.

Tabela 2 – Dados obtidos para briquete de cascas de eucalipto sem adição de aglomerantes

| Número de etapas de produção | Poder calorífico médio (em kcal/kg) | Coeficiente de variação de Pearson. ¹ | | Teor médio de umidade | Coeficiente de variação de Pearson. ¹ | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------|-----------------------|--|--------------------|
| 3 (Secagem, trituração e compactação) | 3,631 | 11,3% | Normal ² | 12,7% | 9,1% | Baixo ² |

Tabela 3 – Dados obtidos para briquete de cascas de eucalipto com adição de amido

| Concentração de aglomerante | Número de etapas de produção | Poder calorífico médio (em kcal/kg) | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | | Teor médio de umidade | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|---|---------------------|-----------------------|---|---------------------|
| (1 parte de fécula para 2 de água) | 5 (Secagem, trituração, mistura, compactação e 2ª secagem) | 3,741 | 15,5% | Normal ² | 15,4% | 12,1% | Normal ² |
| (1 parte de fécula para 3 de água) | | 3,822 | 9,1% | Baixo ² | 15,5% | 11,9% | Normal ² |
| (1 parte de fécula para 4 de água) | | 3,886 | 15,7% | Normal ² | 15,5% | 12,9% | Normal ² |

Tabela 4 – Dados obtidos para briquete de cascas de eucalipto com adição de melaço

| Concentração de aglomerante | Número de etapas de produção | Poder calorífico médio (em kcal/kg) | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | | Teor médio de umidade | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | |
|-----------------------------|---|-------------------------------------|---|---------------------|-----------------------|---|---------------------|
| 2% de melaço | 4 (Secagem, trituração, mistura e compactação) | 3,709 | 14,1% | Normal ² | 13,5% | 16,4% | Normal ² |
| 4% de melaço | | 3,471 | 17,4% | Normal ² | 13,6% | 13,8% | Normal ² |
| 8% de melaço | | 3,564 | 7,2% | Baixo ² | 13,8% | 13,3% | Normal ² |

Tabela 5 – Dados obtidos para briquete de cascas de eucalipto com adição de resíduo de papel

| Concentração de aglomerante | Número de etapas de produção | Poder calorífico médio (em kcal/kg) | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | | Teor médio de umidade | Coeficiente de variação de Pearson ¹ | |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|---|---------------------|-----------------------|---|---------------------|
| 10% de resíduos de papel e celulose | 5 (Secagem, trituração, mistura, compactação e 2ª secagem) | 3,621 | 6,9% | Baixo ² | 14,4% | 8,9% | Baixo ² |
| 20% de resíduos de papel e celulose | | 3,584 | 5,3% | Baixo ² | 14,7% | 8,4% | Baixo ² |
| 30% de resíduos de papel e celulose | | 3,674 | 18,2% | Normal ² | 14,9% | 14,2% | Normal ² |

Os resultados mostraram que produzir briquetes a partir das cascas do eucalipto usado comercialmente na produção de celulose e papel utilizando apenas pressas manuais de baixa tecnologia é totalmente viável. Para valor de comparação foi usada a lenha comercial comum, cujo poder calorífico é de 3,300 Kcal/Kg e o teor de umidade de 30%, segundo o Balanço Energético Nacional de 2010 do Ministério das Minas e Energia.

Nos testes de poder calorífico, os briquetes sem aglomerante (Figura 3a) apresentaram a menor variação nos resultados de todos os demais com uma média de poder caloríficos de 3,631 Kcal/Kg. Visualmente foi possível confirmar que a pequena distância entre as partículas, como pode ser visto na figura 4 (b, c e d), resultante da inserção de aglomerantes, resulta em um briquete de boa resistência. Além disso, os aglomerantes conferem a amostra um maior poder calorífico.

Os briquetes de amido (Figura 3b), após o segundo período de secagem, apresentaram elevada resistência. O lote apresentou relativamente pouca variação nos resultados de poder calorífico com uma média de 3,886 Kcal/Kg a maior de todos os lotes produzidos, com extremos de 3,700 a 3,998 Kcal/Kg.

Os briquetes de casca com melão apresentaram aspecto visual semelhante aos produzidos sem aglomerantes não sendo possível diferenciá-los a olho nu (Figura 3c), estes apresentaram a maior variação nos resultados de todos os demais testes de poder calorífico com extremos de 3,227 a 3,964 Kcal/Kg.

Os briquetes de casca e resíduos de papel, após o segundo período de secagem, apresentavam aspecto visual semelhante aos produzidos com melão ou sem aglomerante, este lote de briquetes apresentou um poder calorífico médio geral de 3,675 Kcal/Kg com extremos de 3,593 a 3,763 Kcal/Kg e uma menor dispersão média dos dados.

Os briquetes com resíduos de papel apresentarão elevada resistência similar aos de amido, devido ao comportamento do aglomerante que após a secagem age como amarras, entrelaçando-se as partículas, como visto na Figura 3d.

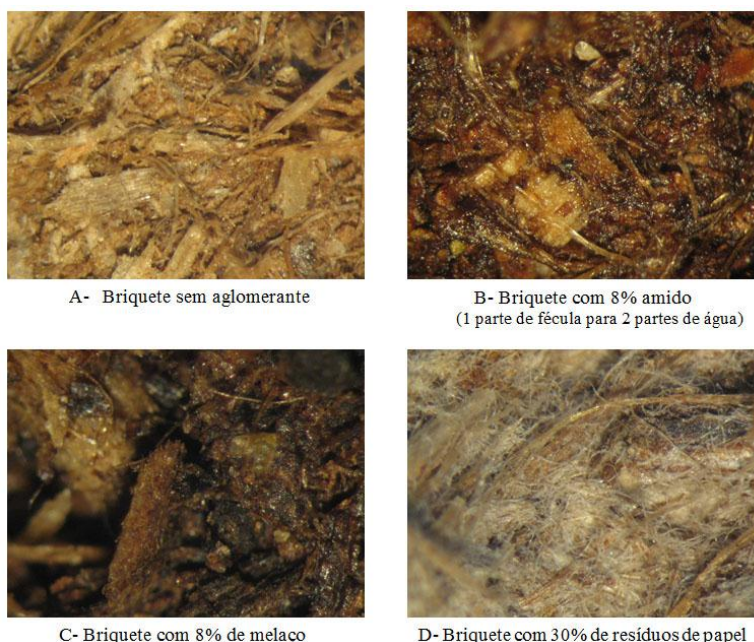


Figura 3 – Microscopia ótica, 100x.

Com relação aos briquetes com adição de resíduos de papel, foi possível montar uma curva que relaciona o poder calorífico com a umidade (Figura 4), tendo em vista a escassez de dados referentes a esse aglomerante. No entanto, na prática, dificilmente teremos briquetes com 0% de umidade, a faixa de umidade recomendada na produção industrial de briquetes e aceita pelo mercado consumidor é de 10 a 15%.

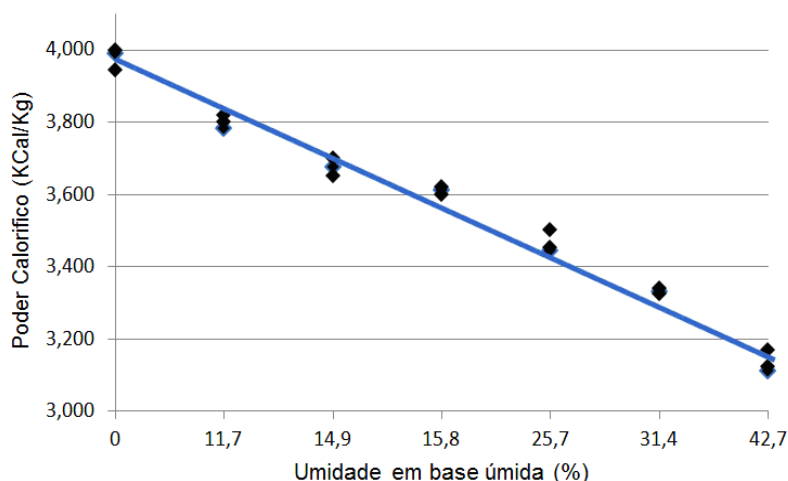


Figura 4 – Gráfico do poder calorífico versus a umidade para briquetes com resíduo de papel (30%)

Ao analisarmos os resultados dos testes de teor de umidade dos briquetes, podemos ver que os mesmos se encontram abaixo do limite máximo de 20% desejável, situando-se dentro da faixa definida como ótima para um combustível sólido.

Os briquetes de resíduos são normalmente utilizados como substitutos para o óleo combustível, carvão vegetal e lenha. Utilizando o princípio da equivalência energética, foi possível estimar o preço médio para se gerar 1 kcal com briquetes de casca com resíduos de celulose e papel, conforme pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 06: Estimativa de preço médio por kcal.

| Briquete de casca de eucalipto com 30% de resíduos de papel e celulose | | Lenha (com 25% de umidade) | |
|--|------------|---|------------|
| Preço médio (ton) ¹ | R\$ 300,00 | Preço médio (m³) ³ | R\$ 100,00 |
| Poder Calorífico (kcal/kg) ² | 3,674 | Poder Calorífico (kcal/kg) ⁴ | 3,100 |
| Preço médio por kcal | R\$ 0,082 | Preço médio por kcal ⁵ | R\$ 0,115 |

| Óleo BPF ⁶ | | Carvão vegetal | |
|--|-----------|---|------------|
| Preço médio (Litro) ⁷ | R\$ 0,92 | Preço médio (mdc) ⁸ | R\$ 105,00 |
| Poder Calorífico (kcal/l) ⁴ | 8,100 | Poder Calorífico (kcal/kg) ⁴ | 6,800 |
| Preço médio por kcal | R\$ 0,114 | Preço médio por kcal | R\$ 0,101 |

4. CONCLUSÕES

É possível concluir que a produção de briquetes de casca de eucalipto é viável como uma alternativa as fontes tradicionais de energia. Sendo perfeitamente aplicável, dada a grande disponibilidade de matéria-prima na região, os baixos custos de produção já que todo o material usado no processo de manufatura é oriundo de reciclagem e reaproveitamento e a facilidade de implementação da tecnologia de produção.



Como já acontece em diversas comunidades ao redor do globo o programa de aproveitamento de resíduos vegetais usando a briquetagem pode ser adaptado a realidade Brasileira com pouco esforço, usando-o como ferramenta para alavancar melhorias sociais e econômicas em comunidades mais carentes. Como já ocorreu e ainda ocorre em diversos países da Ásia e da África e pode ser visto em diversas ações de organizações como a BanaspatiGueethaResource Center Network e a World Wild Fund.

É possível observar que o resíduo da indústria de papel pode ser utilizado como aglomerante no processo de fabricação de briquetes, proporcionando um produto final com um poder calorífico equivalente aos demais briquetes que utilizam os aglomerantes tradicionais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAHLMAN, J. FROST, C. **Technologies demonstrated in ECHO: briquettes presses for alternative fuels: An Echo Technical Note.** EUA: Echo, 2001.

DOMINGUES, R.M.A. SOUSA, G.D.A. SILVA. C.M. FREIRE. C.S.R. SILVESTRE, A.J.D. PASCOALNETO C. **High value triterpenic compounds from the outer barks of several Eucalyptus species cultivated in Brazil and in Portugal.** Portugal: University of Aveiro, 2010.

GARCIA, C. H.. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação.** Circular técnica Nº 171. São Paulo: IPEF, 1989.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GONÇALVES, J. E., SARTORILL, M. M. P., LEÃO, A. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus Grandi.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.5, p.657–661, Campina Grande, 2009

QUIRINO, W. F. **Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 1991.

RENDEIRO, G.. **Rede Nacional de Biomassa para Energia - Obtenção de briquetes de carvão vegetal a partir de finos de carvão.** Boletim Técnico RENABIO, nº 2. VIÇOSA: RENABIO, 2006.

ZAGO, M. A., FROEHLICH, E. S.; PELEGRINI, A. G., SIFUENTES, P. H. **O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã - MT.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO. Ponta Grossa, 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa FIBRIA por permitir a coleta de material e auxiliar no desenvolvimento do projeto.