

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO PARA DIFERENTES SUPERFÍCIES USADAS NO TRANSPORTE DOS BRIQUETES DE CEPA DE MANDIOCA E PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Otávio Mariotto Silva¹; Beatriz Rosa Godinho Filho²; Jane Ianuchauskas Silvestre³; Plínio Magalhães Correa⁴; Andrea Cressoni de Conti⁵; Cláudio de Conti⁶

Resumo

O Brasil produz aproximadamente 736 milhões de toneladas de cana e 23 milhões de toneladas de mandioca por ano. Logo, há uma alta geração de resíduos, que pode ser transformada em combustível. A densificação da energia pode ser aplicada na produção de briquetes, que otimizam transportes e armazenamentos da biomassa e aumentando o valor calorífico por unidade de volume. Como combustível sólido, é importante conhecer as interações das partículas, descritas pelo Método dos Elementos Discretos (DEM), que analisa o comportamento de materiais granulares como peletes e briquetes. O estudo visa calcular o coeficiente de atrito entre duas biomassas densificadas - cepa de mandioca e briquetes de palha de cana - e três tipos de superfície - acrílico, MDF e metal - já que são possíveis pavimentos para o transporte dos materiais. Portanto, pretende-se colaborar para otimizar o transporte e a aplicação do DEM. Este coeficiente foi obtido calculando a tangente do ângulo gerado com a elevação de um plano inclinado feito em MDF, no qual as placas dos materiais acima mencionados deslizaram em três briquetes fixos de cada biomassa. Mediu-se o ângulo em que a placa desliza com velocidade constante. Medições com o equipamento foram feitas com 25 réplicas, onde verificou uma proximidade nos coeficientes das superfícies acrílica e MDF e a metálica apresentou resultado superior. A análise de variância (ANOVA) observou que o valor do coeficiente calculado F é relevante, com confiança de 95%, os tratamentos aplicados, ou seja, a troca de material é relevante.

Palavras-chave: bioenergia; Energia; densificação energética.

Abstract

Brazil obtains approximately 736 million tons of cane and 23 million tons of cassava a year. Therefore, there is a high generation of waste, which can be converted into fuel. Energy densification can be applied in the production of briquettes, which optimize transport and storage of biomass and increase the calorific value per unit volume. As solid fuel, it is important to know the particle interactions described by the Discrete Element Method (DEM), which analyzes the behavior of granular materials such as pellets and briquettes. The study aims to calculate the coefficient of friction between two densified biomasses densified - manioc strain

¹ Graduando em Engenharia de Energia pela Universidade Estadual Paulista-Unesp, Campus Experimental de Rosana. E-mail: omariotto95@gmail.com.

² Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Estadual Paulista-Unesp, Campus Experimental de Rosana. E-mail: beatrizluisarosa@outlook.com.

³ Graduanda em Engenharia de Energia pela Universidade Estadual Paulista-Unesp, Campus Experimental de Rosana. E-mail: jane_is1999@hotmail.com.

⁴ Graduando em Engenharia de Energia pela Universidade Estadual Paulista-Unesp, Campus Experimental de Rosana. E-mail: plinio.mcorrea@gmail.com.

⁵ Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-Unesp, professora do curso de Engenharia de Energia da Universidade Estadual Paulista-Unesp Campus Experimental de Rosana. E-mail: andrea.cressoni@unesp.br.

⁶ Doutor em Física pelo IFT da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-Unesp, professora do curso de Engenharia de Energia da Universidade Estadual Paulista-Unesp Campus Experimental de Rosana. E-mail: claudio.conti@unesp.br.

and cane straw briquettes - and three types of surface - acrylic, MDF and metal - since pavements for the transportation of the materials are possible. Therefore, it is intended to collaborate to optimize the transportation and the application of the DEM. This coefficient was obtained by calculating the tangent of the angle generated with the elevation of an inclined plane made in MDF, in which the plates of the aforementioned materials slid in three fixed briquettes of each biomass. The angle at which the plate slid with constant velocity was measured constant. Measurements with the equipment were done with 25 replicates, where it verified a proximity in the coefficients of the acrylic and MDF surfaces and the metallic one presented superior result. The analysis of variance (ANOVA) observed that the value of the calculated coefficient F is relevant, with 95% confidence, the applied treatments, that is, the exchange of material is relevant.

Keywords: bioenergy; energy; energy densification.

Introdução

O setor agroindustrial brasileiro tem uma extensa área de terras produtivas. Como resultado dessa posse, ele chega a atingir 50% das exportações realizadas do Brasil, além de ser responsável por aproximadamente 25% do Produto Interno Bruto (EMBRAPA, 2013). A maior parte das plantações são provenientes da agroindústria sucroalcooleira, que produz anualmente cerca de 647 milhões de toneladas de cana de açúcar liderando a produção mundial, e produz 20 milhões de toneladas de mandioca por ano, classificando-o como o quarto maior produtor no mundo segundo os dados apresentados pela FAO- Food and Agriculture Organization (CONAB, 2013) (FAO, 2015).

Associado a esse grande desempenho no agronegócio está a geração de resíduos liberados por essa produção, o qual implica em dificuldades como problemas ambientais globais e na degradação do solo devido ao manuseio inadequado (EMBRAPA, 2013) (FAO, 2015). Além da degradação do solo e danos ao meio ambiente pela grande quantidade gerada, a produção e utilização é responsável também por perder potenciais como as matérias-primas e potencial energético (DE RAMOS, 2011). Outro ponto é a queima de resíduos da cana-de-açúcar pré-colheita causando grandes impactos ambientais e socioambientais, como a degradação da saúde humana (SILVA, 2015). Por conta disto, o estado de São Paulo criou a lei 11.241/2002 que veta tal exercício, sendo assim, grande parte destes resíduos são reutilizados para geração de energia (SILVA, 2015). Porém, houve uma grande ascensão com relação a energias renováveis como previu Ignacy Sachs (2007), e observou-se a possibilidade de aproveitamento desse tipo de material para geração de energia sustentável (ROSA, 2011). Uma alternativa são os briquetes. Essa metodologia traz diversos benefícios sociais, ambientais e econômicos visto que é uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis, além de ser uma fonte limpa de energia (DIAS, 2012). A preocupação da ONU (Organização das Nações Unidas) de erradicar a mudança climática global tem se agravado nos últimos anos, visto que, os danos simbolizam

uma ameaça potencial sem reversão para a sociedade global. Devido à preocupação global com a geração de energias limpas no cenário atual, a cana de açúcar e a mandioca mostraram-se capazes de atender as exigências desta política internacional (FIGUEIRA; HABIBE; MACIEL, 2014). Visto que, além da produção de biocombustíveis oriundos da cana de açúcar, os subprodutos também se mostram eficientes na geração de energia limpa (BAPTISTA, 2013). Uma vez que o Brasil é um dos grandes produtores de cana e mandioca, conseqüentemente gera uma grande quantidade de substrato, sendo possível que uma parcela de energia a ser usada por combustível fóssil seja substituída por energia renovável.

Os briquetes vêm sendo comumente utilizado como fonte de energia limpa. A sua produção vem a partir dos resíduos agroindustriais e madeireiros que está entre os maiores produtores mundiais (DIAS, 2012). Um dos métodos utilizados é a densificação da biomassa que consiste em prensar o resíduo para ampliar a sua capacidade calorífica, facilitar seu transporte, melhorar as condições do armazenamento e na manipulação (DIAS, 2002). O processo de compactação é o meio pelo qual são produzidos os briquetes, que passam por uma série de processos de preparação até chegar na sua composição final. Esse procedimento atribui ao briquete algumas qualidades que influenciarão tanto no momento da queima, tal importância deve-se ao fato do aumento da densidade final e melhoria na resistência do material (FURTADO, 2010). O aumento de densidade do material por sua vez tem um fator relevante pelo poder calorífico por unidade de volume no momento da queima (QUIRINO; BRITO, 1991). Esta capacidade coloca os briquetes como uma fonte alternativa de energia sustentável. Outro parâmetro importante para este tipo de fonte de energia proveniente dos resíduos agroindustriais é a não competitividade com o mercado de alimentos, visto que, segundo a ONU houve um crescimento no número de pessoas que foram afetadas pela fome, no ano de 2016 foram 815 milhões de pessoas, cerca de 11% da população mundial afetadas (FAO, FIDA, 2017). Sendo assim, é de suma importância de que não haja nenhum tipo de competitividade com o mercado alimentício. Pelo desempenho positivo, houve um aprofundamento nos estudos a fim de ter uma melhor qualidade na fabricação e um melhor desempenho no transporte e armazenamento deles, como está sendo estudado no presente artigo. Foram utilizadas algumas técnicas que testam a integridade dos briquetes e de como elas interagem com os equipamentos, como é conhecida como DEM- Método dos elementos discretos (RAMÍREZ-GÓMEZ, 2014). O DEM realiza simulações numéricas do movimento de grandes números de partículas em sistemas fixos ou móveis que variam com relação ao tempo (MESQUITA, 2012) (BINELO, 2017). O sistema também possibilita analisar comportamentos mecânicos de materiais

granulares, sendo superior em modelagens de materiais descontínuos (GENG, 2010) fundamentais para a realização do presente artigo.

1 Materiais e Métodos

A fim de determinar o coeficiente de atrito dos briquetes envolvidos nos tipos de assoalho estudado, foi desenvolvido um sistema de baixo custo, que possibilita capturar o momento exato em que a força de atrito estático entre os corpos fique menor que a força gravitacional e faz com que os corpos saiam do repouso sobre os assoalhos. Sendo assim, para calcular o coeficiente de atrito foi confeccionado um instrumento que simula um plano inclinado fornecendo o momento exato em que os materiais saíam do repouso. Para desenvolver o mecanismo foram usados os materiais listados na tabela 1.

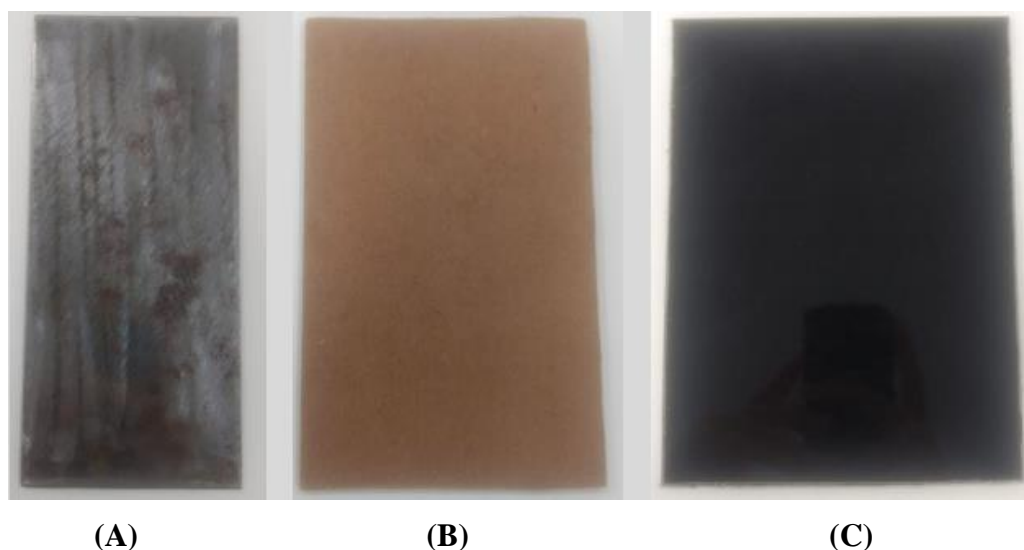
Tabela 1- Materiais utilizados

| Materiais | Tamanho (cm) | Quantidade |
|------------------|---------------------|-------------------|
| Placa de MDF | 60x15 | 2 |
| Placa de MDF | 50x10 | 2 |
| Placa de MDF | 10x15 | 1 |
| Haste | 35 | 1 |
| Dobradiça | 8,9x7,6 | 1 |
| Corda | 200 | 1 |

Fonte: Próprios autores.

Cinco placas de MDF com revestimento ambas com 15 milímetros de espessura. Dessas placas, foram usadas duas de 60x15cm, uma para a base do experimento e outra colocada em cima da base fixada com uma dobradiça em uma das pontas de modo a poder fornecer uma inclinação nas placas.

Figura 1 - Tipos de assoalhos utilizados no sistema de plano inclinado



Fonte: dos próprios autores.

Outras duas placas de 50x10cm, colocadas na mesma ponta da dobradiça para formar uma sustentação e a placa restante de 10x15cm para fixar a parte superior. Foi presa uma haste de metal no topo da sustentação e uma corda preso na haste e no começo do plano, no qual, ao puxar a corda gera-se um torque na corda erguendo a rampa de inclinação. Foram utilizados três tipos de materiais que simularam o assoalho como mostra a figura 1: (A) Um assoalho metálico. Este assoalho foi parcialmente lixado para que fosse retirado uma porção da oxidação que ele tinha, porém, tentando deixá-lo próximo do que seria normalmente encontrado dentro de um container de metal, (B) MDF sem revestimento e (C) acrílico. Para os briquetes os materiais testados foram palha de cana-de-açúcar com granulometria de 40 *mesh* e cepa de mandioca de 16 *mesh*. Os briquetes de palha de cana-de-açúcar de 16 *mesh* e cepa de mandioca de 40 *mesh* não resistiram a logística dos ensaios, impossibilitando seu uso.

Figura 2 - Sistema de Plano Inclinado



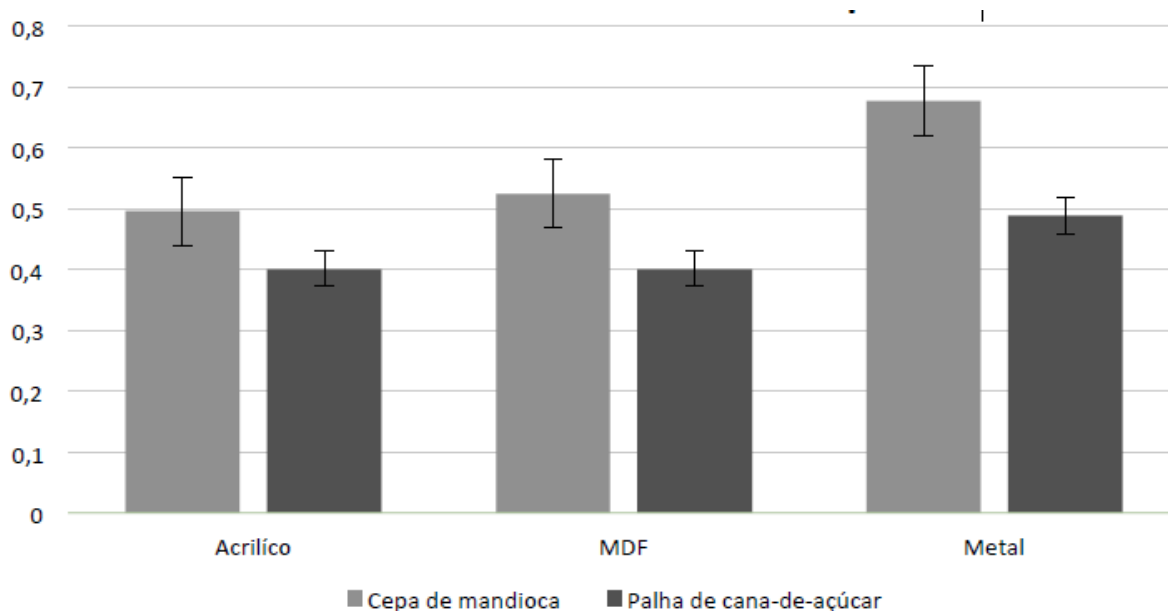
Fonte: dos próprios autores.

Com o sistema de inclinação pronto (Figura 2), fixou-se três briquetes de um tipo de material em formação delta na superfície inclinável e, com um tipo de assoalho em cima dos briquetes. Aplicado o torque no barbante, a rampa entra em movimento e no momento em que o atrito estático é rompido pela força gravitacional e o assoalho entra em velocidade constante, o sistema é travado e é feita a extração o tamanho da base que, no caso do experimento foi fixo em todo o teste, e a altura com que ocorreu a ação. Com esses resultados obtidos, dividiu-se o valor da base pelo valor da altura extraíndo um ângulo e, a partir desse ângulo calculou-se a tangente do resultando no coeficiente de atrito. Com o sistema pronto, cada superfície foi testada 25 vezes com cada tipo de briquete adotado pelo artigo. Após a realização dos testes, foi feito um estudo em cima dos coeficientes obtidos com análise de variância (ANOVA) a fim

de obter um grau de confiança sobre os resultados para determinar se a alteração nas superfícies deslizantes pode ou não ser um fator significativo para a variação do coeficiente.

2 Resultados e Discussões

Figura 1 - Gráfico do coeficiente de atrito com desvio padrão



Fonte: dos próprios autores.

Com a realização das medidas no equipamento confeccionado, pôde-se observar que, nos materiais de acrílico e MDF, houve uma proximidade nos resultados para o briquete de cepa de mandioca, calculando o coeficiente de atrito (Figura 3) (Tabela 2) observou-se uma variação de 0.50 do acrílico para 0.52 do MDF. Tais valores se mostraram distantes do assoalho de metal, que obteve 0.68. Com a biomassa de palha da cana os resultados não foram diferentes, no acrílico e MDF, os resultados partiram dos 0.40, e no metal, alcançou 0.49. Portanto, é possível observar que, dentre as três placas de assoalho testadas, aquela que apresenta um atrito mais alta é a placa de acrílico justamente com o briquete de cepa.

Tabela 2 - Coeficiente de atrito com desvio padrão

| Coeficiente de atrito | Cepa de mandioca | Palha de cana-de-açúcar |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Acrílico | 0,4959 ± 0,0306 | 0,4010 ± 0,0198 |
| MDF | 0,5246 ± 0,0508 | 0,4010 ± 0,0596 |
| Metal | 0,6773 ± 0,0534 | 0,4889 ± 0,0333 |

Fonte: Elaborada pelos autores.

Embora os valores foram próximos nos primeiros assoalhos, o desvio padrão alterou-se consideravelmente, abrindo questionamento sobre a possível causa da variação. Houve também um cálculo da análise de variância sobre os resultados justamente para observar se, a troca de

assoalhos no transporte e armazenamento se mostrava significativa e, para ambas as biomassas, a análise de variância se mostrou relevante na questão da troca de superfícies.

Tabela 3 - Valores da análise da variância do coeficiente F ANOVA Cepa de mandioca

| ANOVA Cepa de mandioca | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrados médios | Coefficiente F |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Modelo | 2 | 821,838 | 410,919 | 10,720 |
| Residual | 72 | 2759,894 | 38,332 | 3,990 |
| Total | 74 | 3581,732 | ----- | ----- |

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 4 - Valores da análise da variância do coeficiente F ANOVA Cana-de-açúcar

| ANOVA Palha de cana-de-açúcar | Graus de Liberdade | Soma dos Quadrados | Quadrados médios | F Ratio |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------|
| Modelo | 2 | 223,795 | 111,898 | 4,386 |
| Residual | 72 | 1837,027 | 25,514 | 3,990 |
| Total | 74 | 2060,822 | ----- | ----- |

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao realizar uma análise de variância (ANOVA) (Tabelas 3 e 4) observou-se que o valor do coeficiente F calculado é superior ao tabelado, confirmando que, para o intervalo de confiança de 95%, os tratamentos aplicados, ou seja, mudança do material da placa para deslizar sobre os briquetes, é significativo para a variação do coeficiente de atrito.

3 Conclusão

Conclui-se então que, as cepas de mandioca combinada com a superfície de acrílico mostraram-se mais eficazes no objetivo do estudo apresentando um menor coeficiente de atrito. Após a análise dos resultados, pôde-se observar quanto os objetos são afetados por forças externas e quão diferentes podem ser variando os tipos de assoalho. No presente artigo, o objetivo se mostrou claro com a comparação das superfícies e as biomassas e a colaboração de pesquisas relacionadas ao tópico.

Referências

BAPTISTA, C. V. R. **Efeitos inibitórios do hidroximetilfurfural na fermentação alcoólica: avaliação por citometria de fluxo**. 2013. Tese de Doutorado. ISA. Disponível em: <http://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/6697>. Acesso em: 25 mai 2018.S. Nesor, J.

NEIBER, K. Bonkoß, Stromverbrauch und Energieeffizienz, Schule und Beratung 11, 2012, pp. 7-12.

BINELO, M. et al. **Método dos Elementos Discretos e Desafios de Desempenho** Computacional. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/erad/2017/004.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v. 1 – Brasília : Conab, 2013- v. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 25 mai 2018.

DE ARAÚJO FIGUEIRA, M. N.; HABIBE, R. C.; MACIEL, A. **Energias renováveis contra o aquecimento global**. Disponível em: <<http://www.academia.edu/download/44535700/1335-3509-1-PB-8.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

DIAS, J. M. C. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agroenergia, Documentos 13, 2012. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

DIAS, J. J. M. Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras domésticas. **Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa**, p. 4-17, 2002. Disponível em: <<http://enersilva.navegantes.info/areasubir/articulos/Tesis%20Mestrado%20Joao%20Dias.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

EMBRAPA. Relatório da FAO com participação da EMBRAPA revela que 33% dos solos do mundo estão degradados. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015. Disponível em: <<http://https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8104410/relatorio-da-fao-com-participacao-da-embrapa-revela-que-33-dos-solos-do-mundo-estao-degradados>>. Acesso em: 25 mai 2018.

FURTADO, T. S. et al. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101, sep. 2010. ISSN 1983-2605. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/101/116>>. Acesso em: 25 mai 2018.

GENG, X. et al. Toward digital soil mapping in Canada: Existing soil survey data and related expert knowledge. **Digital soil mapping**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 325-335.

MESQUITA, A. et al. Uso do método dos elementos discretos em manuseio de minérios e sua contribuição para a pós-graduação e graduação no curso de engenharia mecânica da UFPA. **Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE**, Belém, PA, 2012.

MONTEIRO, J. H. P. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, 2001. Disponível em: <<http://www.aliancatransportes.com.br/images/uploads/downloads/2e1aa4e3f395a9adb17cca751a88fb03.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

ONUBR (NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL). ONU: após uma década de queda, fome volta a crescer no mundo. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-apos-uma-decada-de-queda-fome-volta-a-crescer-no-mundo/>>. Acesso em: 25 mai 2018.

PEDROSA, T. D. et al. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44-48, 2013. Disponível em: <<http://www.academia.edu/download/44535700/1335-3509-1-PB-8.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. 1991.19 p. **LPF, Série Técnica**, n. 13. Disponível em: <<http://mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>>. Acesso em: 25 mai 2018.

ROSA, M. F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. **II Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais–II SIGERA**, v. 15, 2011.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 21-38, apr. 2007. ISSN 1806-9592. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10204>>. Acesso em: 25 mai 2018.