

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
ENGENHARIA FLORESTAL

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

EFEITO DA GRANULOMETRIA DA BIOMASSADE *PINUS SP* NA QUALIDADE DE
BRIQUETES

GOIÂNIA – GO

Dezembro de 2016

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

EFEITO DA GRANULOMETRIA DA BIOMASSA DE *PINUS SP* NA QUALIDADE
DE BRIQUETES

Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Florestal da
Universidade Federal de Goiás, apre-
sentado como exigência parcial para
a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto
Sette Jr.

GOIÂNIA – GO

Dezembro de 2016

LUCAS HENRIQUE OLIVEIRA

EFEITO DA GRANULOMETRIA DA BIOMASSA DE *PINUS SP* NA QUALIDADE
DE BRIQUETES

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em ____/____/____ pela banca
examinadora constituída pelos membros :

Nota _____ (por extenso)

Prof. Dr Carlos Roberto Sette Jr.

Prof. Dr. Matheus Peres Chagas

Msc. Pedro Augusto Fonseca Lima

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, que é a força divinal, e que me conduziu até o atual momento possibilitando viver em paz e harmonia com todos. À minha Santa Maria protetora e soberana que esteve intercedendo por mim em todos o momento. E aos meus guias de luz que me guiam no caminho da santa paz.

À minha família por todo apoio oferecido durante essa jornada acadêmica, pois sem eles nada poderia ser realizado. Aos meus pais eu agradeço pelo imenso amor incondicional dado todas às manhãs e por todas as orações realizadas por eles, sendo exemplos de pessoas para minha jornada evolutiva. À minha irmã que mesmo estando distante sempre ajudou de forma colaborativa para realização do meu sonho ressoando pensamentos positivos para que eu pudesse enfrentar qualquer obstáculo, sendo outro grande exemplo para mim.

À minha companheira Ana Reis que tem demonstrado muito amor e carinho durante esse último período acadêmico, agradeço pelos conselhos dados, pelos momentos de paciência e força espiritual oferecido podendo dar continuidade à minha caminhada.

Aos grandes amigos do peito ao qual estiveram ao meu lado , dando total apoio e conselhos nesse processo. Quero agradecer principalmente àqueles que estiveram perto da pesquisa e puderam me ajudar de alguma forma para que mesma concluísse. Cito aqui meus eternos companheiros nesta jornada : Jéssyca Barroso Borges, Pedro Vilela, Pedro Henrique Fernandes, Thalles Martins, Arthur Muller e Iokanam Sales.

À Universidade Federal de Goiás juntamente com toda equipe de professores e técnicos do Departamento de Engenharia Florestal que puderam oferecer conhecimento e fundamentos para uma vida profissional.

Ao professor Carlos Roberto Sette Jr. pela orientação, atenção, paciência, auxílio durante todo tempo de estágio oferecido na faculdade. Considero-o como um grande amigo para a vida. Agradeço por todas a oportunidades oferecidas durante esse período.

À equipe do LQMBio que sempre auxiliou de forma positiva para o meu crescimento intelectual e ajudou a concluir essa etapa de forma harmoniosa, oferecendo vários momentos descontração e concentração. Na qual pude realizar grandes amizades.

Gratidão por todos os seres que estiveram direto e indiretamente ligados a esta conquista.

RESUMO

A briquetagem é um processo de consolidação de material particulado por meio da aplicação de temperatura e pressão a uma massa de partículas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da granulometria da biomassa residual da madeira de *Pinus sp* na qualidade de briquetes. A biomassa residual utilizada foi obtida do processo de produção de lápis da indústria Faber Castell, localizada em Prata- MG, sendo classificada em (i) serragem; material residual do processo industrial apresentando granulometria diversa e (ii) moída; material moído e classificado na peneira de 60 mesh. Da biomassa foram determinados os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, poder calorífico, densidade a granel e energética e produzidos briquetes em briquetadeira laboratorial com temperatura de 120°C, tempo de prensagem de 5 minutos a uma pressão de 140 Kgf.cm⁻² e tempo de resfriamento de 10 minutos. A qualidade dos briquetes foi determinada pelas variáveis físico-mecânicas: densidade aparente e energética, durabilidade, resistência a tração por compressão diametral e expansão. Os resíduos de biomassa de *Pinus sp*. provenientes do processamento de toras para produção de lápis são adequados a confecção de briquetes para produção de energia. Não houve efeito da granulometria da biomassa dos resíduos de *Pinus sp*. nas características energéticas e físico-mecânicas dos briquetes. A densidade energética aumentou 808% após a compactação da biomassa, confirmando o aumento da concentração de energia por unidade de volume em materiais densificados.

Palavras chave: Serragem; briquetagem; aproveitamento energético.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Biomassa	11
2.1.1 Biomassa florestal	12
2.2 Resíduos industriais da madeira	13
2.3 Material densificado	14
2.3.1 Briquetes.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Coleta e preparo do material	16
3.2 Caracterização da biomassa	17
3.3 Produção e análise dos briquetes	18
3.4 Análise dos resultados	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Caracterização da biomassa	22
4.2 Características energéticas e físico-mecânicas dos briquetes	25
5. CONCLUSÃO.....	28
6. REFERÊNCIAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo físico de biomassa florestal.....	16
Figura 2 - Características da biomassa nas duas condições: (A) serragem e (B) biomassa classificada a 60 mesh	17
Figura 3 - (A) Briquetadeira laboratorial, (B)resfriamento com ventilação forçada.....	18
Figura 4 - Determinação da densidade aparente dos briquetes, (A) (B) medição das dimensões do briquete e (C) massa do briquete.....	19
Figura 5 - (A) Máquina universal de ensaios EMIC - DL30000 ; (B) teste de resistência a tração por compressão diametral	20
Figura 6 - Porcentagem granulométrica de dois tipos de biomassa utilizada para produção de briquetes.....	22
Figura 7 - Teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas da biomassa de <i>Pinus</i> sp.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Valores do Poder calorífico superior (PCS), Densidade à granel e energética (DE) da biomassa.	24
Tabela 2 : Valores médios da Densidade relativa aparente (DA), Densidade energética (DE), Durabilidade (Dur), Resistência à compressão diametral (RTCD) e expansão dos briquetes.	25

1. INTRODUÇÃO

A demanda energética brasileira tem apresentado crescimento em uma proporção maior que o PIB (Produto Interno Bruto), no entanto, a oferta interna de energia no país não atende a esta demanda. A diversificação da matriz energética e novas soluções para o uso racional e eficiente dos recursos naturais são estratégias que podem aumentar a oferta de energia e atender a demanda do Brasil.

As hidroelétricas geram atualmente 64,5% da carga elétrica do país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016) esse quantidade substancial é um reflexo do modo como o país planejou o suprimento de energia, que desde a década de 1970 focalizou em hidroelétricas e combustíveis fósseis (LIMA; BAJAY, 2004). A hidroeletricidade apesar de ser uma fonte renovável, gera um grande efeito negativo sobre a biota, muitas vezes irreversíveis (WINEMILLER et al., 2016), além disso é uma fonte vulnerável aos regimes hídricos e mudanças climáticas. Neste cenário a biomassa surge como alternativa energética.

Hoje no país pouco mais de 9% da energia elétrica advém da biomassa (MME, 2015), majoritariamente o etanol. No entanto o Brasil tem potencial de aumento da participação da biomassa na matriz energética, devido a grande quantidade de resíduos gerados na agroindústria. Estima-se que a produção de resíduos madeireiros no Brasil em 2015 foi de aproximadamente 17.194.000 m³ (FAO, 2015).

Em uma empresa de processamento de madeira 60% de toda matéria-prima torna-se resíduos (BRAND, 2010), a tendência é o acúmulo desses rejeitos, que na maioria das vezes é depositado inadequadamente no ambiente, ocasionando impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia (PAULA et al., 2014). Com os crescentes aumentos nos custos dos insumos energéticos as indústrias visaram às vantagens do aproveitamento dos resíduos como fonte alternativa de combustível ou de utilizá-los como matéria-prima para outros produtos.

Os principais empecilhos de se utilizar resíduos para produção de energia são a baixa densidade energética, as dimensões variadas, a alta higroscopicidade e o grande volume. Uma das formas de melhorar estas propriedades dos resíduos é a densificação do material, ou seja produção de materiais sólidos de tamanho médio com alta concentração de energia denominados briquetes (CARVALHO et al., 2013).

Os mesmos foram criados em função da demanda por um novo tipo de combustível compactado com alta densidade energética, para o transporte a maiores distâncias, otimização do armazenamento e principalmente para o uso em equipamentos de queima mais modernos (PROTÁSIO et al., 2015). As características que qualificam um briquete são: poder calorífico, densidade e resistência a compressão. Essas características são influenciadas por variáveis relacionadas ao processo de produção (FURTADO et al., 2010).

Neste contexto, trabalhos científicos são fundamentais para apresentar soluções no atendimento da demanda energética nacional, principalmente pelo aproveitamento da matéria-prima residual de processos industriais, como na produção de briquetes, fundamentais para uma destinação viável, econômica e ambientalmente correta desses resíduos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da granulometria da biomassa residual da madeira de *Pinus sp.*, proveniente de uma empresa de base florestal com principal atividade a produção de lápis, na qualidade de briquetes produzidos partir desse material.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biomassa

O termo biomassa designa o total de matéria vegetal gerada através da fotossíntese e os seus derivados, como: resíduos florestais e agrícolas e a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, animais, entre outros (SILVA et al., 2008). Sendo assim, ela é gerada pela energia química provinda da fotossíntese gerando um produto de alto teor energético, que são os carboidratos e oxigênio, sendo passível a transformação em energia útil, tal como o calor, a eletricidade e a força motriz (MME, 2014).

No ciclo natural da vida, a biomassa vegetal se decompõe em suas moléculas elementares, liberando também calor. Portanto, a liberação de energia pela conversão dessa biomassa concebe a decomposição natural e essa energia é formada de energia renovável. As fontes de energias renováveis possuem grande importância por serem consideradas alternativas sustentáveis e, principalmente, por possibilitarem reduzir o uso de produtos derivados do petróleo. Atualmente as principais fontes de biomassa energética disponíveis no Brasil são a cana-de-açúcar e seus derivados, a lenha de florestas energéticas ou nativas manejadas, os resíduos sólidos urbanos (RSU) e os resíduos agrícolas, agroindustriais e agropecuários (BRASIL, 2011). Ainda assim, o aproveitamento energético dessas e de outras fontes de biomassa é limitado pelo pouco conhecimento sobre seu potencial energético, porém seu uso como fonte de energia é cada vez mais frequente e promissor, pois essa é a mais abundante das energias renováveis e, além disso, possui ciclo fechado de carbono, reduz emissões de CO₂ e outros produtos prejudiciais ao ambiente.

De modo geral, a biomassa pode ser definida como fonte energética primária quando libera a energia a partir do material “in natura” e secundários quando existe algum processo de transformação envolvido (GOLDEMBERG, 2009). A biomassa “in natura” possui características que restringi sua utilização direta como, baixa densidade, alta umidade e baixo poder calorífico, sendo assim, pesquisas buscam novas metodologias de se trabalhar a biomassa com a finalidade de produção de energia. Porém para um melhor aproveitamento da biomassa é de extrema importância o conhecimento sobre suas características energéticas, sendo necessário o estudo do poder calorífico, propriedades químicas, umidade, entre outros (PROTÁSIO et al., 2011).

Dentre os recursos renováveis, a biomassa vegetal tem gerado grande interesse da comunidade científica, pois além de ser uma importante fonte de energia renovável, devido principalmente a sua abundância e baixo custo, as possibilidades de melhoria e utilização do seu potencial energético são muito amplas e promissoras.

2.1.1 Biomassa florestal

Incluída nos combustíveis derivados da biomassa está a de origem florestal, sendo definido por Brand (2010) como todo material orgânico produzido por sistemas florestais ou que derive da manufatura de produtos florestais na indústria de base florestal. Dentro desta definição não se restringe somente à madeira, também chamada de lenha, há uma gama de materiais muito grande que inclui folhas, galhos, serrapilheira, raízes, frutos, extrativos e resíduos da indústria que faz uso da madeira podendo estes serem sólidos (casca, cavacos, serragem, refilos, destopos, pó) ou líquidos (licor negro).

A biomassa florestal é produzida a partir sistemas florestais nativos e implantados, geralmente a que provém de sistemas nativos são derivadas da substituição da floresta por culturas agrícolas ou florestais, caracterizando como um sistema não sustentável. Portanto o uso da biomassa originária de florestas plantadas para geração de energia tem modificado o cenário energético aumentando a participação da biomassa na matriz energética, estes plantios com fins energéticos são denominados florestas energéticas. Os cinco principais agentes reflorestadores do Brasil são: indústria de celulose e papel, siderurgia, indústria de produtos sólidos da madeira, governos e pequenos produtores (COUTO; MÜLLER, 2013).

Durante o processo produtivo de uma empresa de base florestal, a qual tem como manufatura produtos florestais é comum a geração de resíduos, desde o início do processo até a etapa final, ou seja, desde o corte da árvore até a transformação da matéria-prima no produto acabado, pronto para a comercialização (FROEHLICH, et al. 2012). Os resíduos florestais, que segundo Cortez et al. (2008), “são constituídos por todo aquele material deixado para trás na coleta de madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamento, e pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira”, são materiais de grande potencial energético e podem ser utilizados pelas seus próprios produtores como fonte de energia local.

Para a utilização energética da biomassa florestal, é importante levar em consideração as características físicas e químicas do material (SOUZA, 2012), pois elas podem

influenciar fortemente no rendimento e na manutenção dos equipamentos, principalmente nos que realizam processos de combustão.

2.2 Resíduos industriais da madeira

Os resíduos de madeira são classificados como biomassa ligno-celulósica, ou seja, contêm principalmente lignina e celulose, têm origem tanto em atividades industriais quanto atividades rurais. A princípio o resíduo de madeira pode ser considerado como bastante heterogêneo devido às diversas granulometrias da serragem e às diversas condições de armazenamento, que alteram suas características físicas, e à dispersão geográfica que dificulta seu transporte.

O setor florestal brasileiro é constituído por processos produtivos desde o plantio de árvores até o uso madeireiro e não madeireiro do produto de origem florestal. Certos processos geram uma grande quantidade de resíduos que até alguns anos atrás não tinham uma destinação correta, gerando um problema ambiental e logístico para organização. A porcentagem de produção de resíduos pode ultrapassar 50% da matéria-prima que entra no processo (BRAND, 2010), no caso do pinus a geração de resíduos na cadeia produtiva de serrados é da ordem de 75%, ou seja, apenas 25% do volume total de uma árvore é colocado no mercado na forma de tábuas, caibros e ripas (CAF, 2005).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015), atualmente o Brasil possui uma área de 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas dos quais, o principal produto visado é a madeira contida no caule das árvores. No entanto, por se tratar de biomassa, o aproveitamento dos resíduos do processamento da madeira tem sido considerado também uma forte opção para uso energético. Embora a biomassa residual proveniente das atividades de colheita seja de bom uso para a geração de energia, é necessário ressaltar que resíduos como galhos finos, folhas e cascas podem ser muito importantes para a ciclagem de nutrientes no solo florestal, assegurando a manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas deste. (MAGOSSO, 2007).

Os produtos oriundos da indústria de base florestal são os mais variados, podendo ser divididos em oito cadeias produtivas principais: chapas e compensados; óleos e resinas; fármacos; cosméticos; alimentos; carvão, lenha e energia; papel e celulose; madeira e móveis. Independentemente do tipo de indústria madeireira, a geração de resíduos é resultado direto do processamento primário ou secundário da madeira sólida. A maioria dos resíduos da cadeia produtiva madeireira é gerada no processamento primário

(CERQUEIRA et al., 2012), sendo as perdas no desdobro e nos cortes de reserra de madeira de reflorestamento os maiores valores de material residual gerado, situando entre 20% e 40% do volume das toras processadas (FINOTTI et al., 2006). De acordo com Vieira (2006) esse tipo de atividade após a colheita gera enormes quantidades de resíduos que podem ser reaproveitados energeticamente.

O aproveitamento de resíduos de madeira tem contribuído para a regulação dos recursos florestais, proporcionando uma nova alternativa socioeconômica às empresas, além de colaborar para uma adequação ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos industriais. Portanto ao reaproveitar o material ele terá uma nova destinação contribuindo ao empreendimento, como por exemplo o uso energético dos resíduos madeireiros que beneficiará a empresa com geração de energia, podendo assim diminuir os gastos mensais com a demanda energética e incluir o resíduo ligno-celulósico no ciclo produtivo.

2.3 Material densificado

Diante a significativa participação da biomassa florestal para produção bioenergética, destacam-se os mais diversos usos da madeira para este fim, por exemplo, a lenha in natura, a transformação em carvão vegetal e o processamento da madeira para produção de cavacos e/ou para produção de briquetes e pellets. Os pellets e briquetes são procedentes do processo de densificação da biomassa, ao longo do desenvolvimento da biomassa compactada, os briquetes antecedem aos pellets. Estes últimos foram criados em função da demanda por um novo tipo de combustível compactado com alta densidade energética, para o transporte a maiores distâncias, otimização do armazenamento e principalmente para o uso em equipamentos de queima mais modernos (PROTÁSIO et al., 2015).

A ampla quantidade de resíduos de biomassa gerados no Brasil anualmente não são, em sua maior parte, utilizados como fonte de energia em razão de suas carentes características energéticas (baixa densidade, baixo valor de aquecimento e alto teor de umidade), resultando em elevados custos durante o transporte, manuseio e armazenamento (FELFLI, et al., 2011). Essas dificuldades podem ser mitigadas através da compactação da matéria-prima a ser utilizada, gerando materiais sólidos de maior massa e maior concentração de energia.

2.3.1 Briquetes

Uma das formas de minimizar o desperdício e a pressão sobre o meio ambiente se dá por meio do aproveitamento dos resíduos, a geração desse material é uma característica típica da cadeia produtiva florestal. Assim, a transformação de resíduos num meio de fácil utilização deve ser considerada como fato essencial para a disseminação da biomassa como um combustível viável. O surgimento de novas tecnologias de transformação de lenhas, resíduos lenhosos, industriais e agrícolas num produto final de fácil manuseio, transporte, armazenamento e utilização, como é o caso do briquetes, constitui um fator fundamental para o melhor uso da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis (CARVALHO et al., 2013).

A briquetagem é uma forma eficaz de aproveitar os resíduos de biomassa (SUAREZ, 2003), pois consiste na densificação do material lignocelulósico tornando-o em um material sólido de alta densidade energética. A elevada densidade e a baixa umidade permitem que os briquetes tenham alta concentração de energia em menor volume. Durante o processo de briquetagem os resíduos são compactados utilizando na maioria das vezes temperatura e pressão, sendo que o aumento da temperatura faz com que a lignina se torne plástica e atue como ligante natural das partículas (CHEN et al., 2009). As características da biomassa in natura é um fator limitante para produção de briquetes, em um trabalho de Paula et al. (2011) testaram diferentes tipos de biomassa lignocelulósica para produção de briquetes e concluíram que aquelas que apresentam maior densidade produziam briquete de melhor qualidade.

São várias as características que definem a qualidade do briquete como poder calorífico, resistência a compressão e densidade do material (FURTADO et al, 2010). Outro parâmetro que necessita de controle sendo bastante relevante é o teor de umidade onde, quanto menor esse valor maior será a produção de calor por unidade de massa (QUIRINO, 1991).

Apesar da briquetagem ser uma forma eficiente de concentrar energia da biomassa em um sólido, Quirino (2004) afirma que a técnica de compactação de resíduos para uso energético é pouco conhecida e utilizada no Brasil. Portanto há um gargalo tanto para realização de pesquisas quanto para a produção de briquetes em grande escala.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo do material

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi coletado do processamento da madeira de *Pinus sp.* para a produção de lápis de uma indústria localizada na cidade de Prata-MG. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma da produção industrial, tendo sido coletado a serragem gerada nos processamentos 1 e 2.



Figura 1 - Fluxo físico de biomassa florestal.

Fonte : Site da Faber castel¹.

O material foi coletado no pátio de deposição de resíduos madeireiros e transportado até o Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBIO) do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Goiás (UFG), situada em Goiânia, GO, para realizações das análises. Inicialmente, o material foi classificado granulometricamente, sendo submetido a uma separação utilizando peneiras classificadas em 20, 40, 60 e 100 mesh com auxílio de um agitador de peneiras com batidas intermitentes.

¹Disponível em: <http://faber-castell.com.br/html/internacional/ciclo.htm>;. Acesso em Nov. 2016.

Para a avaliação do efeito do tamanho das partículas (granulometria) na qualidade dos briquetes, foram definidas duas condições: (i) material original, obtido diretamente do processo de produção de lápis, chamado de serragem e que apresenta como características partículas com diferentes granulometrias e (ii) e material constituído apenas de partículas com 60 mesh, chamado de moído (Figura 2).



Figura 2 - Características da biomassa nas duas condições: (A) serragem e (B) biomassa classificada a 60 mesh .

3.2 Caracterização da biomassa

A caracterização química da biomassa do resíduo de *Pinus sp.* foi realizada no material a 60 mesh, conforme preconizado na NBR 8112 da ABNT (1983) e se aplica as duas condições de preparo do material: foram determinados os teores de cinza, materiais voláteis e teor de carbono fixo de acordo com a NBR 8112 da ABNT (1983), em 5 repetições.

A densidade a granel foi determinada para cada condição da biomassa (serragem e moída) de acordo com a NBR 6922 da ABNT (1981). Utilizou-se a relação entre a massa de biomassa e o volume conhecido de um recipiente.

O valor do poder calorífico superior (PCS) foi obtido experimentalmente através da bomba calorimétrica marca IKAWERKE C5003, por meio da metodologia estabelecida na norma ABNT NBR 8633/84. A densidade energética foi calculada a partir do produto entre o valor do PCS e a densidade aparente calculada do briquete.

3.3 Produção e análise dos briquetes

A briquetagem da biomassa na condição serragem e moída foi em uma briquetadeira laboratorial, com temperatura de 120°C, pressão 140 Kgf.cm⁻², tempo de compactação de 5 minutos, resfriamento de 10 minutos, foi utilizada uma quantidade fixa de biomassa para produção de cada briquete, sendo 40 g de resíduo. Antes do processo de briquetagem as amostras foram previamente secas em estufa a 103°C ± 2, sendo posteriormente ajustadas a umidade das amostras a 12 %. A temperatura no processo de briquetagem tem como objetivo a plasticização da lignina (CHEN et al., 2009), atuando como ligante natural das partículas durante a compactação.



Figura 3 - (A) Briquetadeira laboratorial, (B)resfriamento com ventilação forçada.

A densidade aparente de 5 briquetes foi determinada por meio do método estequiométrico, o qual consiste em obter o volume a partir de medições, utilizando um paquímetro e a massa do briquete em uma balança com precisão de 0,001 gramas (Figura 4). Foi obtida através equação 2, tendo sido determinado o volume individual (V em cm³) pela equação 1.

$$V = \frac{\pi}{4d^2L} \quad (1)$$

$$dap = \frac{Mi}{V} \quad (2)$$

Em que:

V: Volume individual (cm³)

dap: Densidade aparente (g.cm⁻³)



Figura 4 - Determinação da densidade aparente dos briquetes, (A) (B) medição das dimensões do briquete e (C) massa do briquete.

O valor de resistência à compressão dos briquetes de ambos os tratamentos foi calculado em função da força de resistência do briquete até a ruptura da carga de tensão. A aplicação da força perpendicular na lateral do briquete com velocidade de ensaio de 3 mm/min (PROTÁSIO et al., 2011; QUIRINO et al., 2012; SOUZA, 2012), (Figura 5). O ensaio foi realizado a partir de uma adaptação da norma NBR 7190 (ABNT, 1994) para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa, devido a falta de normas específicas para testes em briquetes.

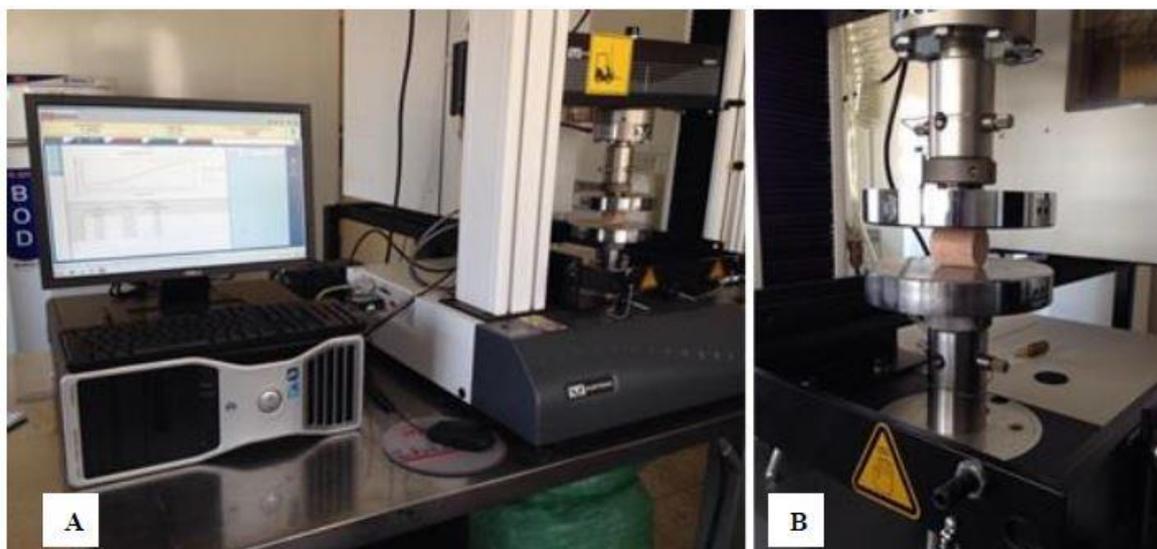


Figura 5 - (A) Máquina universal de ensaios EMIC - DL30000 ; (B) teste de resistência a tração por compressão diametral

A durabilidade (*Dur*) foi determinada por perda de massa das amostras, conforme descrito por Toscano et al. (2013) e Liu et al. (2014). Cinco briquetes foram pesados para a obtenção da massa inicial e na sequência colocados em uma peneira com tela de tamanho de 2,83 mm, posteriormente foram levados a um agitador de peneiras, permanecendo por 10 minutos, a 80 rotações por minutos.

Após este procedimento, os briquetes foram novamente pesados e obtida a massa final. A durabilidade foi calculada por meio da seguinte equação 3:

$$Dur = 100 - \left[\frac{Mid - Mfd}{Mid} \right] \times 100 \quad (3)$$

Em que:

Dur: Durabilidade do briquete (%);

Mid: Massa inicial da amostra (g);

Mfd: Massa final da amostra (g).

A expansão volumétrica dos briquetes foi calculada pela mensuração da altura e do diâmetro de 10 briquetes/posição e posterior cálculo do volume em dois momentos diferentes: (i) imediatamente após a briquetagem e (ii) 72 horas após a briquetagem – intervalo de tempo necessário para a estabilização dimensional dos briquetes. A expansão volumétrica foi determinada por meio da equação 2 .

$$Exp = \left[\frac{(Vol_2 - Vol_1)}{Vol_1} \right] \times 100 \quad (2)$$

Em que:

Exp: expansão volumétrica dos briquetes (%);

Vol1: volume do briquete imediatamente após a compactação (cm³);

Vol2 : volume do briquete transcorrido certo tempo após a compactação (cm³).

3.4 Análise dos resultados

Na análise estatística dos resultados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, sendo aferidos os “outliers”, distribuição dos dados e heterogeneidade da variância. Para todas as variáveis, foram obtidas as médias e calculado o coeficiente de variação. Nos resultados da densidade aparente, energética, durabilidade, resistência a tração por compressão diametral e expansão volumétrica aplicou-se a análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito da condição do material (serragem e moída), a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da biomassa

Um fator importante a ser considerado nessa estudo é o tamanho das partículas, que abaixo de 1 mm são consideradas 'finas' (BERGSTRÖM et al., 2008; QUIRINO et al., 2012).

A constituição da serragem se dá em sua maior parte por partículas retidas nas malhas de 20 mesh (0,85 mm) até 100 mesh (0,15 mm), ou seja todo conteúdo é considerado fino (Figura 6).

De acordo com estudo feito por Bergström et al. (2008) diferentes porcentagens granulométricas não influenciaram na produção de materiais densificados de *Pinus sylvestris* L., apresentando características físicas e termo-químicas semelhantes entre os tratamentos de diferentes granulometrias. Mesmo não diferenciando as propriedades dos briquetes o próprio autor, baseado em outros trabalhos observa que diferentes granulometrias misturadas podem ter uma boa influência na qualidade do briquete.

Um exemplo é a caracterização de briquetes feitos a partir de diferentes granulometrias com resíduo de eucalipto realizado por Gonçalves et al. (2013), que demonstrou os melhores valores de expansão e resistência a compressão para o briquetes produzido com maior amplitude granulométrica (10 a 100 mesh).

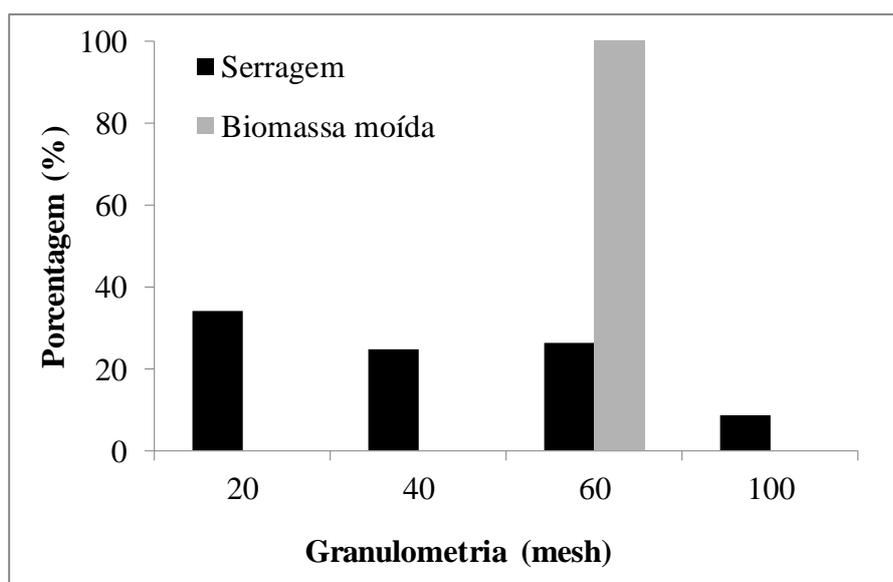


Figura 6 - Porcentagem granulométrica de dois tipos de biomassa utilizada para produção de briquetes.

De acordo com os dados apresentados abaixo pela Figura 7, podemos ver a porcentagem dos componentes do material energético, através da Química imediata. Em relação aos materiais voláteis, a serragem de *Pinus sp.* apresenta-se com teor percentual mais elevado do que os outros parâmetros, cerca de 81,78 %. Segundo Tavares e Santos (2013), o percentual de materiais voláteis representa a facilidade de que o material e o carbono fixo queimam em um determinado período de tempo. Portanto de acordo com o resultado obtido, a biomassa de *Pinus sp.* possui uma maior facilidade de ignição. Outro estudo comparando diferentes tipos de biomassa de espécies florestais obteve valores médios de materiais voláteis 85,27% , 80,27%, 80,72% para espécies de *Pinus sp.*, Violeta e Ipê roxo respectivamente (AMORIM et al., 2015), evidenciando maiores valores de MV para espécie *Pinus sp.*.

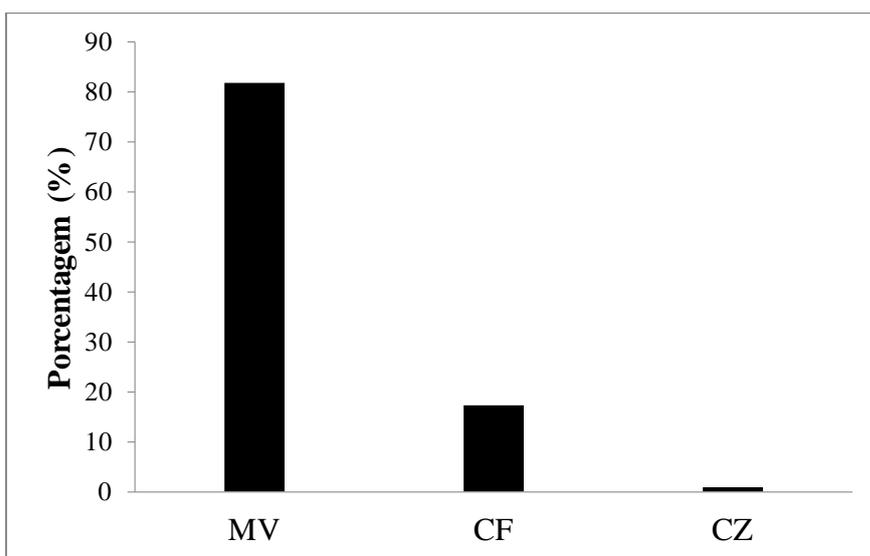


Figura 7 - Teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas da biomassa de *Pinus sp.*

Quanto ao teor de cinzas, a biomassa apresentou um valor médio de 0,83%. Segundo Carroll; Finnan (2012) o valor médio do teor de cinzas encontrado para espécie de *Pinus sp.* resultou em 0,7 %. Vários estudos demonstraram que a madeira de *Pinus sp.* atende as normas europeias e norte-americanas para produção de materiais sólidos, que exigem teores de cinza entre 0,5-1,5% (CARROLL, 2012; PROTÁSIO, 2015).

Para o teor de carbono fixo, a biomassa obteve teor médio com 17,38%, apresentando padrão de queima fundamental para produção de energia, pois de acordo com

Brito & Barrichello (1982) recomendam teores de carbono fixo entre 14 a 25% e afirmam que combustíveis com elevado índice de carbono fixo queimam mais lentamente, acarretando em elevado tempo de residência destes dentro dos queimadores. O valor encontrado foi próximo ao de Silva et al. (2015), que estudando a serragem de *Pinus sp.* para produção de briquetes obteve valor médio de 18,61%.

Tabela 1 : Valores do Poder calorífico superior (PCS), Densidade à granel e energética (DE) da biomassa.

Repetição	D. granel (Kg.m ⁻³)	PCS (Kcal.kg ⁻¹)	DE (Gcal.m ⁻³)
1	144,20	4408,00	0,64
2	146,84	4720,00	0,69
3	156,24	4550,00	0,71
4	152,00	4950,00	0,75
5	149,82	4968,00	0,74
CV (%)	3,10	5,20	6,61
Média	0,15	4719,20	0,71

A biomassa possui densidade a granel de 149,09 kg.m⁻³, valor inferior ao encontrado em estudo realizado por Silva et al. (2015), que constatou 180 Kg.m⁻³ para serragem de *Pinus sp.*. Esse fato pode ser esclarecido devido a condições de biomassa estarem em diferentes granulometrias, pois cada tipo de material residual possui granulometria diferente de acordo com a sua fonte. No caso do presente estudo, a fonte de resíduos por processamento de madeira para produção de lápis gera biomassa com densidade inferior à literatura encontrada.

Os valores de poder calorífico superior (Tabela 1) variaram entre 4408,1 a 4968,0 kcal.kg⁻¹, apresentando uma curva de variância baixa. Os resultados encontrados para essa variável estão próximos com os apresentados pelo autor Souza et al. (2012), onde o poder calorífico superior variou entre, 4.550 e 4.950 kcal.kg⁻¹ para biomassa florestal da espécie *Pinus taeda*. O teor de cinzas apresenta correlação inversa com o poder calorífico. Essa elevada correlação inversa é explicável, visto que a cinza é material de origem mineral, não-orgânico, inerte e não-combustível, e o poder calorífico depende da quantida-

de de material orgânico presente no combustível (QUIRINO, 1991). Brito (1993) afirma que a variação do poder calorífico superior para a madeira em geral está entre 3.500 kcal.kg⁻¹ e 5.000 kcal.kg⁻¹.

A densidade energética está diretamente relacionada com o poder calorífico da biomassa e com a densidade. Portanto o valor da densidade a granel encontrado para biomassa influenciou na densidade energética do material, encontrando valor médio de 0,71 Gcal.m⁻³, considerado baixo quando comparado a outros tipos de materiais. Protásio (2011) obteve valores médios de densidade energética variando de 0,99 - 2,04 Gcal.m⁻³ para os respectivos tipos de biomassa, serragem de eucalipto e casca de café moída . É desejável que os resíduos lignocelulósicos apresentem maiores valores de densidade a granel, pois fatores como o custo do transporte e a densidade energética são essenciais na viabilidade econômica das energias renováveis.

4.2 Características energéticas e físico-mecânicas dos briquetes

Os briquetes produzidos a partir da serragem de *Pinus sp.* mostraram-se semelhantes aos produzidos com partículas de 60 mesh quanto a todas variáveis estudadas, não apresentando diferenças significativas (Tabela 2).

Tabela 2 : Densidade aparente (DA), energética (DE), durabilidade (Dur), resistência à compressão diametral (RTCD) e expansão dos briquetes (Ex).

Condição	DA (g.cm ⁻³)	DE (Gcal.m ⁻³)	Dur (%)	RTCD (Mpa)	Ex (%)
Serragem	1,21 a (0,006)	5,74 a (0,031)	99,25 a (0,538)	3,51 a (0,179)	2,16 a (0,963)
Moído	1,21 a (0,024)	5,74 a (0,115)	99,50 a (0,211)	3,41 a (0,101)	2,88 a (1,819)

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste F. Desvio padrão entre parênteses.

Os briquetes dos dois tratamentos apresentaram densidade aparente iguais, $1,218 \text{ g.cm}^{-3}$, não diferindo numericamente. O valor encontrado é considerado alto, sendo essa uma característica desejável quando se trabalha com combustíveis sólidos para geração de energia na forma de calor. Os briquetes de ambos tratamentos obtiveram valores de densidade dentro do encontrado por Quirino et al. (2012), onde o autor e colaboradores trabalharam com resíduos de madeira de *Eucalyptus sp.*, encontrando valores de densidade aparente entre $1,18 - 1,34 \text{ g.cm}^{-3}$. Essa variação de densidade aparente ocorre devido ao tipo e granulometria da biomassa utilizada, equipamento, pressão, temperatura e o tempo utilizado no processo de briquetagem.

Notou-se um aumento 88% da densidade do material estudado após a briquetagem. De acordo com Silva et al. (2015) esse aumento na densidade dos briquetes representa uma diminuição do volume das biomassas (uma maior concentração de massa em um mesmo espaço). Isto demonstra a eficiência dos briquetes em termos de transporte e estocagem.

Outros autores, Yamaji et al. (2013); Chrisostomo (2011), encontraram densidades menores para os briquetes de serragem de eucalipto e de pinus. Os valores da literatura variaram de $0,80$ à $0,87 \text{ g.cm}^{-3}$ para a serragem de eucalipto e oscilaram de $0,85$ à $0,86 \text{ g.cm}^{-3}$ para a serragem de pinus.

Após a compactação observou o aumento concomitante da densidade energética, cerca de 808 %. Evidenciando a importância da briquetagem no aproveitamento de resíduos lignocelulósicos para geração de energia. Protásio et al. (2011) estudando briquetes de diferentes tipos de biomassa, encontrou valores menores de densidade energética para briquetes da casca de café ($5,69 \text{ Gcal.m}^{-3}$), resíduos moídos da colheita de milho ($4,22 \text{ Gcal.m}^{-3}$) e serragem de eucalipto ($4,17 \text{ Gcal.m}^{-3}$), em relação ao obtido para os dois tratamentos, que não diferiram significativamente.

Com relação a durabilidade dos briquetes, foi encontrado melhor valor para briquetes produzidos a partir da biomassa a 60 mesh (99,5 %), apesar de não diferirem estatisticamente. Este resultado corrobora aquele obtido por Bergström et al. (2008) o qual evidenciou valores de durabilidade iguais em seus tratamentos (partículas finas, médias e grossas), mostrando que não é influenciada pelo tamanho das partículas.

Apesar de não haver diferenças estatísticas nos valores de expansão (Ex) e resistência a compressão (RTCD), o tratamento de briquetes produzidos a partir da serragem de *Pinus sp.* demonstrou tendência a características qualitativas superiores em ambos quesitos, menor expansão e maior resistência (Tabela 2). Essa mesma tendência foi observada por Gonçalves et al. (2013) que obteve valores de expansão menores para materiais heterogêneos de maior amplitude granulométrica (10 - 100 mesh). Isso pode ser explicado pois os espaços entre as partículas grandes, previamente ocupados por ar, passam a ser preenchidos com as partículas de tamanho menor, tendo maior coesão entre as partículas e, conseqüentemente, a menor taxa de expansão.

Vale ressaltar que os valores de desvio padrão (%) para porcentagem de expansão são maiores que para as demais variáveis estudadas, pois ocorreu uma maior variação de valores entre as repetições da análise de expansão volumétrica.

Os briquetes de *Pinus sp.* preparados com a matéria-prima serragem apresentaram os melhores resultados de tensão suportada pelos corpos-de-prova, cerca de 3,519 Mpa. Essa pequena diferença é explicada por Gonçalves et al. (2013), uma vez que partículas de diferentes tamanhos garantem uma grande superfície específica, o que gera maior adesão entre as partículas. Essa adesão promove uma melhor compactação do material e, portanto melhores resultados para resistência.

Pode-se dizer que financeiramente esse resultado é ótimo, pois para a produção de briquetes em alta escala (comercialmente) reduziria parte do processamento na produção, retirando-se o processo de separação granulométrica.

5. CONCLUSÃO

- Os resíduos de biomassa de *Pinus sp.* provenientes do processamento de toras para produção de lápis são adequados a confecção de briquetes para produção de energia.

- Não houve efeito da granulometria da biomassa dos resíduos de *Pinus sp.* nas características energéticas e físico - mecânicas dos briquetes.

- A densidade energética aumentou 808% após a compactação da biomassa, confirmando o aumento da concentração de energia por unidade de volume em materiais densificados.

- Apesar de ambos os tratamentos demonstrarem as mesmas qualidade, isso implica na viabilidade maior do uso da serragem como biomassa a ser utilizada, pois a ela estão atrelados menores custos de produção de briquetes, sem a necessidade de adequação granulométrica.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.; BRITO, J. O.; PERRÉ, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: the potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, p. 9778-9784, 2010.

AMORIM, F. S. et al. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 34-41, 2015.

ARRANZ, J.I.; MIRANDA, M.T.; MONTERO, I.; SEPÚLVEDA, F.J.; ROJAS, C.V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. **Fuel** n. 142, p. 199–207, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8112**. Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222**. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Statistical Society - Serie A**, v.60, p.268-282, 1937.

BERGMAN, P.C.A.; BOERSMA, A.R.; KIEL, J.H.A.; PRINS, M.J.; PTASINSKI, K.J.; JANSSEN, F.J.J.G. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. **ECN**. Petten, Holanda. 2005.

BERGSTRÖM, Dan et al. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. **Fuel Processing Technology**, v. 89, n. 12, p. 1324-1329, 2008.

BRAND, A.M. **Energia de biomassa florestal**. 1. ed. Rio de Janeiro : Interciência, 2010. 131 p.

BRASIL. Ministério De Minas E Energia . Agencia Nacional De Energia Elétrica. **Relatório ANEEL 2013**. Brasília: ANEEL, 2014. 80 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Biomassa supera 12 GW de potência e se aproxima do gás como segunda fonte de energia**. Brasília: MME, 2015.

BRASIL. 2016. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Brasília: ANEEL, 2016.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: Seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais, 2., 1982, São Paulo. **Palestras apresentadas**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, p. 101-137. 1982.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: 7 Congresso Florestal Brasileiro e I Congresso Florestal Panamericano, Curitiba, 19-24/setembro/1993. **Anais...**, Curitiba, 1993.p. 280.

CAF-CONSULTORIA AGRO FLORESTAL -. **Energia a partir de resíduos florestais**. Disponível em: <[http:// www.caf ltda.com.br/01/2005_01.htm](http://www.caf ltda.com.br/01/2005_01.htm)> Acesso em : 15 nov. 2016.

CARROLL, J.P.; FINNAN J. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws. **Biosystems Engineering**. n. 112, p. 151- 159, 2012.

CARVALHO, A.M.M.L. ; PEREIRA, B.L.C. ; SOUZA, M.M. Produção de pellets da madeira. In: SANTOS, F. ; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia & Biorrefinaria : cana -de- açúcar & espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2013. p.380 - 400.

COUTO, L.C. ; MÜLLER, M.D. Produção de florestas energéticas. In: SANTOS, F. ; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **Bioenergia & Biorrefinaria : cana -de- açúcar & espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2013. p.297 - 319.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O.. Biomassa para energia. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008.

CHEN, L. J.; XING, L.; HANA, L. Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuels and biomass briquetting technology. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Oxford, U.K., v. 13, n. 9, p. 2689-2695, Dec. 2009.

CERQUEIRA, P.H.A. de et al. Analysis of saw mill wood waste generated by mills in Eunapolis, state of Bahia, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 506-510, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forestry Production and Trade**. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>> Acesso em: 05 dez. 2016.

FELFLI, F.F.; MESA P, JUAN M.; ROCHA, J.D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C.A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.35, n.1, p. 2011.

FINOTTI, A. R. et al. Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira/móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono. **Pólo Moveleiro da Serra Gaúcha-Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira**. Educs, p. 191-230, 2006.

FROEHLICH, A. G.; LUPPI, L.; MORAES, S. DE. Geração De Energia : Estudo De Madeireira De Aripuanã-Mt. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: UFF, 2012. p 1 - 23.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GOLDEMBERG, J. Biomass and energy. **Química nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GONÇALVES et al. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para confecção de briquetes. **Rev. Inst. Flor.**, São Carlos, v. 25, n. 2, p. 205-213, dez. 2013.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBÁ. Brasília: IBÁ, 2015.

LIMA, C.R. de, BAJAY S.V. A reposição florestal obrigatória e o planejamento energético regional. **Revista Baiana de Tecnologia**, Bahia, v. 1, n. 15, p. 140-144. 2004.

LIU, Z.J.; FEI, B. H.; JIANG, Z. H.; CAI, Z. Y. LIU, X. E. Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. **Wood Sci Technol**, v. 48, p. 903–917, 2014.

MAGOSSI, D. C. **A produção florestal e a industrialização de seus Resíduos na região de Jaguariaíva – Paraná**. 2007. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Jaguariaíva – PR, 2007.

PAULA, L. E. R. de. **Efeitos da Torrefação e Briquetagem nas Propriedades Energéticas dos Resíduos Agroindustriais**. 2014. 88 p. Tese (Doutorado em Processamento e utilização da madeira) , Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

PAULA, L. E. de R. et al. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103-112, abr./jun. 2011.

PROTÁSIO, T. D. P. et al. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus Thiago. **Brazilian Journal of Forestry Research**, 2015.

PROTÁSIO, T. P. et al. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos. Brasília : IBAMA, LPF. 2004, 10 P.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Brasília : IBAMA, LPF. 2002, 31 P.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O. M.; SOUZA, F.; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536. 2012.

QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: IBAMA / LPF- Laboratório de Produtos Florestais, 1991, n. 13, 14 p. Série Técnica.

SAS INSTITUTE. JMP Development Group. **JMP Statistics and Graphics Guide**, Version 3.1. SAS Institute, Cary, NC. 1997.

SHAPIRO, S.S., WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika** v. 52, p. 591-611. 1965.

SILVA, A. M. N.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, E. S.; SANTOS-FILHO, D.; BARBOSA, W. B. A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos da cidade de Tracunhaém/PE. **Custos e agronegócio online**, v. 4, n. 3, 2008.

SILVA, D. A. et al. Caracterização de biomassas para a briquetagem. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 713-722, 2015.

SOUZA, M.M. et al. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.

SUÁREZ J. A., BEATÓN P. A., LUENGO C. A., FELFLI F. F.. Coffee Husk Briquettes: A new Renewable Energy Source. **Energy Sources**, v. 25, p. 961-96. 2003.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, v. 29, n. 5, p. 19, 2013.

TOSCANO, G. et al. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. **Journal Biomass and Bioenergy**, v. 56, p. 317-322, 2013.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading, MA: Addison-Wesley. 1977.

WINEMILLER K.O., et al. Balacing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. **Science**, v. 351, p. 128-129. 2016.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na agricultura**. v. 28, n. 1, p. 11 - 15, 2013.