



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM EPICARPO DA MACAUBA (*Acrocomia aculeata*) E MADEIRA DE *Pinus* sp.

Sarah Esther de Lima Costa¹
Rosimeire Cavalcante dos Santos²
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro³
Renato Vinícius Oliveira Castro⁴
Ana Flávia Neves Mendes Castro⁵
Cynthia Patricia de Sousa Santos⁶
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes⁶

¹ UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS / ESCOLA AGRÍCOLA DE JUNDIAI / Universidade Federal do Rio Grande do Norte

² UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS / Universidade Federal do Rio Grande do Norte

³ UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

⁴ Universidade de Brasília

⁵ Universidade Federal de Viçosa

⁶ Universidade Federal do Rio Grande do Norte



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM EPICARPO DA MACAUBA (*Acrocomia aculeata*) E MADEIRA DE *Pinus* sp.

Resumo: A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira oleaginosa de alto valor econômico pela sua grande produtividade e pelas amplas possibilidades de aproveitamento das diferentes partes da planta. Esta palmeira é uma das espécies mais promissoras para a produção de biodiesel, e, durante o seu uso, há geração de grande quantidade de resíduos. O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar a qualidade de briquetes confeccionados com epicarpo da macaúba, em associação aos resíduos da madeira de *Pinus* sp. Para caracterização dos resíduos foram realizadas as análises: densidade a granel, composição química imediata e poder calorífico superior. Na produção de briquetes foram adotados diferentes tratamentos, sendo T1 (100% Macaúba), T2 (75% Macaúba + 25% *Pinus*), T3 (50% Macaúba + 50% *Pinus*), T4 (25% Macaúba + 75% *Pinus*) e T5 (100% *Pinus*). Os briquetes foram produzidos à pressão de 1000 PSI, temperatura de 120-130 °C, tempos de prensagem e resfriamento de 5 minutos e umidade média de 9.88% para a Macaúba e 8.00% para o *Pinus*. Para qualificar os briquetes avaliou-se as dimensões, densidade aparente, densidade energética, carga de ruptura, poder calorífico inferior, poder calorífico útil e umidade de equilíbrio higroscópico. De modo geral, recomenda-se os tratamentos 1, 2 e 3, pois os briquetes produzidos com maiores percentuais de epicarpo de macaúba destacaram-se por apresentarem elevados valores de densidade a granel e poder calorífico superior, além disso, conferem maior resistência e densidade energética ao produto.

Palavras-chave: energia da biomassa, qualidade dos briquetes, resíduos agroflorestais.

THE BRIQUETTE'S QUALITY MADE FROM MACAUBA'S EPICARP (*Acrocomia aculeata*) AND *Pinus* sp. LUMBER

Abstract: Macaúba (*Acrocomia aculeata*) is an oleaginous palm tree with high economic value because of its great productivity and wide exploitation possibilities of all plant parts. This palm tree is one of the many promising specimens regarding to biodiesel production nowadays, and, during the production, it generates a great amount of leavings. The goal of this thesis is to generate and evaluate the number of briquettes originated from the epicarp of the macaúba, mixing with *Pinus* sp lumber leavings. Regarding the characterization of the briquettes, the following analysis were made: bulk density, immediate chemical composition and superior calorific value. The production of the briquettes were adopted different treatments, being T1 (100% Macauba), T2 (75% Macaúba + 25% *Pinus*), T3 (50% Macaúba + 50% *Pinus*), T4 (25% Macaúba + 75% *Pinus*) e T5 (100% *Pinus*). The briquettes were made pressurized in 1000 PSI, temperature between 120-130 °C, pressing and cooling times of 5 minutes and medium humidity of 9.88% for Macaúba and 8.00% for *Pinus*. For the qualification of the briquettes were evaluated the dimensions, apparently density, energetic density, rupture charge, inferior calorific power, useful calorific power and hygroscopic equilibrium moisture. In general, is recommended the treatments 1, 2 and 3, because the produced briquettes with higher percentages of Macauba's epicarp stood out for showing high bulk density and superior calorific power. Besides, they add higher resistance and energetic density to the product.

Keywords: biomass energy, briquettes quality, agroforestry leavings.

1. INTRODUÇÃO

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

A colaboração da biomassa na matriz energética brasileira representou 23,8% do total da participação dos renováveis (EPE, 2015). Sob esse aspecto há uma grande projeção de crescimento, além de uma grande diversificação da matriz energética até o ano de 2030, de forma que se pode vislumbrar um aumento do uso de fontes renováveis, destacando-se a utilização da biomassa pelo seu grande potencial de aproveitamento, como a utilização de resíduos agrícolas e florestais (TOLMASQUIM, 2007).

Ressalta-se que uma grande quantidade e variedade de resíduos florestais são geradas anualmente pelas diversas indústrias de base florestal, a exemplo da geração de resíduos na cadeia produtiva de serrados de Pinus, da ordem de 75%, ou seja, apenas 25% do volume total de uma árvore é colocado no mercado na forma de tábuas, caibros, ripas, etc (MENDES et al, 2004). Contudo, a floresta de Pinus é intensamente utilizada em outras inúmeras atividades, sendo sua cadeia produtiva já estabelecida, como a indústria laminadora, MDF, papel e celulose, painéis e chapas.

Entre os diversos resíduos agrícolas, evidenciam-se os da cadeia de produção de biodiesel, onde as espécies sacarinas e oleaginosas destacam-se como fontes promissoras de óleo vegetal para esta atividade, no entanto geram grande quantidade de resíduos. Dentre estas espécies enfatiza-se a macaúba, palmeira oleaginosa nativa do Brasil, com altos teores de óleo em sua polpa e amêndoa, sendo normalmente seu epicarpo rejeitado durante processamento dos frutos (MOTOIKE, 2013).

Nesse perspectiva, a geração de resíduos provenientes da biomassa agroflorestal no Brasil é grande e estes podem causar problemas ambientais, como o assoreamento e a contaminação dos cursos d'água, a ocupação de amplos espaços nas indústrias e a poluição do ar durante a sua queima a céu aberto (PROTÁSIO et al, 2011).

A transformação dos resíduos em biocombustíveis é uma alternativa interessante para estes entraves, uma vez que proporciona um ganho no rendimento energético, qualidade e redução dos custos de transportes. Hoje há diversas tecnologias disponíveis para conversão de resíduos em biocombustíveis (EVARISTO et al, 2016). Dessa forma, esses resíduos podem ser aproveitados na forma de *pellets* e briquetes.

Briquetes são biocombustíveis sólidos produzidos sob pressões e temperaturas controladas. O processo de briquetagem é um método indicado para reutilização de materiais gerados pela exploração agroflorestal, por exemplo, e, por se tratar de um material com umidade baixa, reduz a biodegradação, além de aumentar a densidade energética do produto compactado (SILVA, 2007).

Nesse sentido, os briquetes produzidos com resíduos de pinus já são vendidos no mercado, no entanto por ser um material caro, faz-se necessário o estudo de qualidade de briquetes de resíduos de pinus associados a outras fontes que promovam a melhor compactação desse material, além de diminuir os custos de fabricação.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de produzir e avaliar a qualidade de briquetes confeccionados com epicarpo da macaúba, em associação aos resíduos da madeira de *Pinus* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa/MG.

Os frutos da macaúba foram doados pelo setor de Fruticultura da UFV. Estes, após colhidos, foram colocados em estufa a 60 °C por 24 horas, com o propósito de facilitar a retirada do epicarpo.

Os resíduos da madeira de *Pinus* provenientes da serraria da UFV, foram levados à estufa a 60 °C, para secagem prévia visando reduzir o seu teor de umidade para facilitar a

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

moagem. Após a obtenção dos materiais, os mesmos foram reduzidos a partículas em moinho martelo e classificados em peneiras com malha de 2 mm, para se adequar às características da matriz da briquetadeira que possui diâmetro de 3 cm e coluna de 15 cm.

Após a trituração, as partículas foram secas em estufa e determinou-se a umidade, base seca, por meio de uma balança modelo MB35 Halogen. Utilizou-se o resíduo de pinus com teor de 8% de umidade e o epicarpo de macaúba apresentou teor igual a 9,88%.

Para estudo da análise química, as biomassas foram novamente trituradas em um moinho, sendo este de laboratório tipo Wiley. As partículas foram peneiradas e passaram pela peneira de 40 mesh e foram utilizadas as retidas na peneira de 60 mesh (American Society for Testing and Materials - ASTM, 1982).

A densidade a granel foi realizada utilizando um becker de plástico com volume de 1 L. Empregou-se a metodologia, adaptada, descrita na norma DIN EN 15103 (2010).

Para determinação da composição química imediata, que indica as porcentagens de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo seguiram a norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado seguindo a norma ABNT NBR 8633 (1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

poder calorífico útil (PCU) foi estimado pela em função da umidade e do poder calorífico inferior. O Poder calorífico inferior (PCI) foi estimado pela seguinte fórmula: $PCI = PCS - [600 (9H/100)]$, considerando 6% de hidrogênio.

Os briquetes foram produzidos em briquetadeira de laboratório da marca Lippel, modelo LB-32. Foi estabelecido a massa no valor de 18 gramas para produção de cada briquete com umidade variando entre 8 a 10%. Para tanto, os briquetes foram fabricados sob as seguintes proporções: T1: 100% Macaúba; T2: 75% Macaúba + 25% *Pinus* sp.; T3: 50% Macaúba + 50% *Pinus* sp.; T4: 25% Macaúba + 75% *Pinus* sp.; T5: 100% *Pinus* sp.

A briquetadeira foi regulada para trabalhar a temperatura de 120-130 °C e pressão de 1000 PSI para todos os tratamentos. Os tempos de prensagem e resfriamento foram de 5 minutos cada, utilizado em todas os tratamentos.

A densidade aparente dos briquetes foi determinada pelo método de imersão em mercúrio (Hg) e obtendo-se o volume deslocado, de acordo com a NBR 11941 da ABNT (2003).

A densidade energética dos resíduos foi definida mediante produto dos valores de densidade aparente e do poder calorífico útil.

A umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) foi determinada após os briquetes terem sido acondicionados em câmara climática, com temperatura de 23 °C e umidade relativa do ar de 65% até atingirem massa constante.

Para a avaliação da carga de ruptura dos briquetes, utilizou-se uma máquina de ensaio universal, modelo LOSENHAUSEN. Há, portanto, a aplicação de uma força plana na lateral do briquete por meio de pistão com velocidade de ensaio de 6,0 mm min⁻¹. O referido procedimento está de acordo com a metodologia expressa na NBR 7190 da ABNT (1997), uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes.

As dimensões dos briquetes, diâmetro e comprimento, foram obtidos com auxílio de um paquímetro.

Nesse sentido, o experimento foi analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições (briquetes).

Tabela 1. Tratamentos empregados na confecção dos briquetes

Tratamentos	Proporções
T1	100% Macaúba
T2	75% Macaúba + 25% <i>Pinus</i>
T3	50% Macaúba + 50% <i>Pinus</i>
T4	25% Macaúba + 75% <i>Pinus</i>

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade, e Cochran para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 8.0 (STATSOFT, INC, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades das biomassas

Na Tabela 2 são apresentadas as características das partículas do epicarpo da macaúba e de *Pinus* sp. estudados em suas diferentes proporções.

Tabela 2. Valores médios das propriedades das biomassas utilizadas para produção dos briquetes

Propriedades	Resíduos	
	Epicarpo da macaúba	<i>Pinus</i> sp.
D. Granel (kg/m ³)	401.57 a	186.60 b
MV (%)	82.90 a	89.47 a
CF (%)	13.3 a	10.5 a
CZ (%)	3.8 a	0.44 b
PCS (kcal/kg)	4863 b	5088 a

D. Granel: Densidade a granel. MV: teor de materiais voláteis. CF: teor de carbono Fixo. CZ: teor de cinzas. PCS: Poder calorífico superior. *Mesmas letras entre resíduos (linhas), para uma mesma variável, não diferem significativamente pelo teste Tukey (p=0,05).*

Observa-se que houve diferença significativa para as diferentes proporções, indicando que as biomassas com maiores proporções de epicarpo de macaúba apresentaram maior densidade a granel. Este parâmetro é importante, pois segundo Protásio et al, (2011) é desejável que resíduos lignocelulósicos apresentem maiores valores de densidade a granel, pois a mesma tem influência direta sobre o custo de transporte e densidade energética, fatores que são determinantes para viabilizar o uso das energias renováveis.

De acordo com Tumuluru et al, (2011), normalmente, a densidade a granel de resíduos agrícolas e gramíneas variam de 80 a 150 kg.m⁻³ e a densidade a granel da madeira, em cavacos ou serragem, de 150 a 250 kg.m⁻³. Portanto, os valores encontrados no presente trabalho são condizentes com os valores obtidos pelos autores para densidade a granel de *Pinus* sp., entretanto, os valores de densidade a granel para os resíduos de macaúba foram superiores ao encontrado pelos autores, expressando um resíduo de boa qualidade energética.

Os valores de poder calorífico superior para epicarpo da macaúba e *Pinus* sp. correspondem a 4863 kcal/kg e 5088 kcal/kg, respectivamente. Apesar de as biomassas apresentarem altos valores de PCS, foi observado maior valor desta variável para madeira de pinus. Possivelmente, este comportamento pode ser verificado devido ao pinus ser uma conífera, neste sentido, apresenta maior quantidade de carbono fixo, altos teores de lignina e resina e conseqüentemente, maior poder calorífico. As altas concentrações de carbono fixo e altos teores de lignina no epicarpo da macaúba favorecem seu alto PCS.



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Paula et al, (2011) estudando o potencial energético de várias culturas agrícolas (arroz, café, cana-de-açúcar, soja, feijão e milho) e resíduos madeireiros (serragem), encontraram PCS variando entre 3.812,30 a 4.615,26 kcal/kg e carbono fixo de 16,66 a 21,03%, estando estes valores de acordo com os encontrados para o epicarpo de macaúba e madeira de *Pinus* sp.

Evaristo (2015) encontrou valor médio de PCS equivalente a 4.826 Kcal.Kg⁻¹ para o epicarpo de frutos de macaúba, valor próximo ao obtido neste trabalho.

Os teores de materiais voláteis para as biomassas estudadas estão próximos aos normalmente obtidos para a maioria da biomassa vegetal, que está compreendida entre 65 a 83%, corroborando com Evaristo (2015) que também observou teores semelhantes para epicarpo da macaúba.

De acordo com McKendry (2002) citado por Souza e Vale (2016) a reação da biomassa à queima está relacionada com o teor de materiais voláteis, ou seja, a facilidade de ignição da biomassa devido à volatilização de substâncias do material durante o aquecimento. Para Cortez; Lora (2008) o percentual de material volátil é importante principalmente para a ignição e nas etapas iniciais da combustão da biomassa.

Apesar de o teor de materiais voláteis da madeira de pinus ter sido superior, o mesmo não diferiu estatisticamente dos valores observados para o epicarpo. Os valores médios determinados para materiais voláteis e carbono fixo em resíduos de *Pinus* sp. são próximos aos encontrados por Brito; Barrichelo (1982), que mencionaram que os teores de voláteis da madeira se encontram entre 75% a 85% e o carbono fixo entre 15% a 25%. Souza e Vale (2016) encontraram conteúdo volátil para a biomassa de pinus de 84.92%, semelhantes ao encontrado no presente estudo.

Em relação aos teores de cinzas, estes afetam negativamente o poder calorífico da biomassa e aumentam a frequência de limpeza dos cinzeiros das fornalhas devido ao aumento na produção de cinzas, bem como acarretam corrosão e incrustações nos metais utilizados na construção dos sistemas de combustão (VITAL et al, 2013).

Observou-se que o epicarpo da macaúba apresentou teor de cinzas superior à madeira de pinus. Porém, segundo Evaristo (2015) o teor de cinzas do epicarpo da macaúba, apesar de elevado, é menor do que aqueles apresentados por outros resíduos de oleaginosas como a vagem da soja (7,25%) demonstrado por Paula et al, (2011).

O teor cinzas obtido para o epicarpo da macaúba foi semelhante ao encontrado por Evaristo (2016) avaliando o potencial energético dos diferentes resíduos da macaúba, sendo que, para o epicarpo foi encontrado o valor de 5.66% e para o endocarpo 2.04%.

O teor de cinzas de 0.44% observado para as partículas de *Pinus* sp. está de acordo com o normalmente verificado para os diferentes tipos de madeira. Bufalino et al, (2012) encontraram valores de 0.32% de cinzas para a madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*), enquanto Barcellos et al, (2005) obtiveram um teor de cinzas de 0,6% na madeira de *Eucalyptus grandis*. A variação do teor de cinzas pode ser relacionada com a procedência da espécie.

De acordo com Brand et al, (2009) os teores de carbono fixo da madeira, tanto de coníferas como de folhosas, variam de 15 a 25%, enquanto os teores de voláteis situam-se entre 75 e 85%. O teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis (OLIVEIRA et al, 2010). O *Pinus* sp. apresentou um teor de carbono fixo de 10.5% e o valor de materiais voláteis de 89.47%.

Verifica-se que o percentual médio de carbono fixo encontrado para o epicarpo de macaúba (13.3%) foi superior ou próximo a diversos resíduos agrícolas e madeireiros utilizados para geração de energia, enquanto que o teor de materiais voláteis obtido foi de 82.90%.

Os valores encontrados nesse estudo se assemelham aos obtidos por Vilas Boas (2011), que obteve para briquetes produzidos com madeiras de diferentes espécies, teores

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

de carbono fixo variando entre 8,81 e 19,63%. Já Evaristo (2015) ao analisar o potencial dos frutos da macaúba para produção de biocombustíveis sólidos, encontrou valor médio de carbono fixo para o epicarpo de 14,70%.

Propriedades dos briquetes

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos diâmetros (mm), comprimentos (mm), densidade aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), poder calorífico inferior (kcal/kg), poder calorífico útil (kcal/kg) e densidade energética (MJ/kg) dos briquetes em função dos tratamentos.

Tabela 3. Valores médios de diâmetros (mm), comprimentos (mm), densidade aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), poder calorífico inferior (kcal/kg), poder calorífico útil (kcal/kg) e densidade energética (MJ/kg)

Mesmas letras entre resíduos (linhas), para uma mesma variável, não diferem significativamente pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Foi observado efeito significativo da adição de epicarpo da macaúba para a fabricação de briquetes em associação com madeira de *Pinus* sp. para os parâmetros diâmetro e comprimento. Observa-se que a medida que se aumentou a proporção de epicarpo de macaúba as dimensões dos briquetes diminuíram devido a maior densidade do epicarpo.

Tavares (2013) concluiu que as dimensões dos briquetes uniformes e padronizados garantem um menor custo de transporte e fácil manuseio dos mesmos.

A densidade aparente é um parâmetro de grande importância na avaliação da

Propriedades	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Diâmetro (mm)	31.8 b	34.5 a	34.8 a	34.6 a	34.2 a
Comprimento (mm)	20.1 b	22.9 a	23.0 a	23.3 a	23.0 a
Densidade aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.13 a	1.09 ab	1.08 b	1.07 b	1.07 b
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	4539 b	-	-	-	4764 a
Poder calorífico útil (kcal/kg)	4174.5 b	-	-	-	4321.1 a
Densidade energética (MJ/kg)	19.73 a	-	-	-	9.40 b

qualidade dos briquetes, já que influencia diretamente sobre o transporte e densidade energética dos mesmos, além disso, um material com alta densidade aparente facilita as condições de armazenamentos (RODRIGUES, 2010) e conforme Vilas Boas (2011), essa propriedade define condições de estocagem e armazenamento.

De modo geral, verifica-se uma tendência de aumento da densidade aparente com a elevação do percentual do epicarpo na composição das partículas dos briquetes. Isso se deve a maior densidade a granel do epicarpo de macaúba em relação a madeira de *Pinus* sp, que apresentam uma maior quantidade de massa por unidade de volume.

Scalet (2015) objetivando a ampliação do uso como fonte de combustível da casca de Licuri – palmeira típica do semiárido brasileiro – estudou briquetes em diferentes proporções desse resíduo, combinados com palha de cana-de-açúcar, obtendo valores médios para densidade aparente de $1.033 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, valor semelhante, porém, inferior aos encontrados para os briquetes produzidos somente com epicarpo de macaúba ($1.13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Em estudo realizado com diversas biomassas (*Pinus*, Tauari, Cumaru, casca de arroz, bagaço de cana e torta de Pinhão Manso) para briquetagem, Souza e Vale (2016)

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

encontraram valores de densidade aparente para *Pinus* sp. de 1.088 g.cm^{-3} , similar ao encontrado para os briquetes produzidos somente com madeira de *Pinus* sp., equivalente a 1.07 g.cm^{-3} .

Observando-se os dados analisados, entende-se que os valores de densidade obtidos no presente trabalho está de acordo com os trabalhos de Protásio et al, (2011) que obteve valores médios de densidade variando entre 1.06 e 1.24 g.cm^{-3} . Rodrigues (2010), analisando briquetes produzidos com finos de madeira de *Eucalyptus* obteve valor médio de densidade aparente igual a 1.10 g.cm^{-3} , enquanto Paula et al, (2011) ao avaliar briquetes produzidos de diferentes resíduos lignocelulósicos verificou valores entre 0.80 e 1.07 g.cm^{-3} , próximos aos obtidos neste trabalho.

O poder calorífico inferior diferiu significativamente para os dois tratamentos analisados, sendo o Tratamento 5 (100% madeira de pinus) com maior resultado, devido ao maior valor encontrado para poder calorífico superior (5088 kcal/kg).

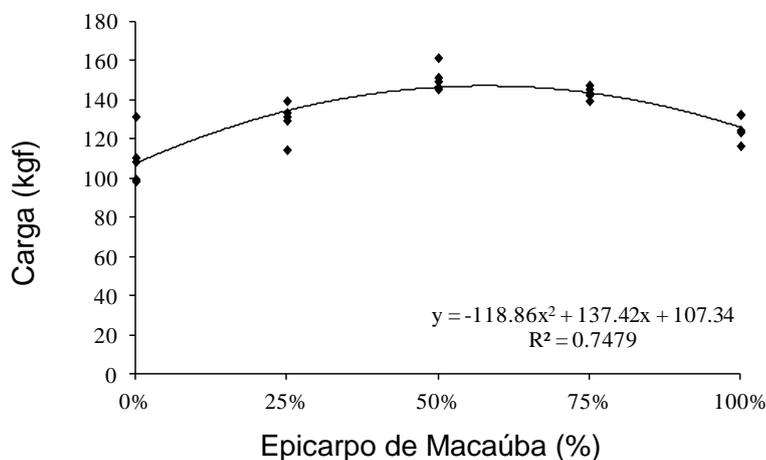
O poder calorífico útil leva em consideração o poder calorífico superior e a quantidade de água presente no material (FREITAS et al., 2016).

Portanto, considerando os valores, em termos reais, de quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão do epicarpo e da madeira de *Pinus* sp., obteve-se as médias de 4174.5 kcal/kg e 4321.1 kcal/kg , respectivamente, sendo encontrado maior valor para a madeira de *Pinus* sp. Possivelmente, esse comportamento foi observado devido ao maior valor de poder calorífico superior da madeira de *Pinus* sp.

Entende-se que a densidade energética está relacionada com o poder calorífico útil e a densidade aparente das biomassas. Observa-se que houve diferenças significativas entre os materiais para esta variável, indicando maior valor para o epicarpo da macaúba. Provavelmente, esse comportamento foi observado devido aos maiores valores de densidade aparente para os briquetes produzidos com epicarpo de macaúba.

Vale salientar que materiais com baixa densidade energética podem não ser viáveis quanto a sua utilização, uma vez que podem aumentar os custos de transporte, por ser necessário mais unidade de material para um bom rendimento energético, como também por contribuir negativamente com o balanço energético na reação de combustão (QUIRINO, 2002).

A carga de ruptura ou resistência à compressão dos briquetes é importante para avaliar a estrutura física destes materiais em relação aos impactos sofridos durante o armazenamento, transporte, manuseio e empilhamento. Na Figura 1 estão apresentados os valores médios da carga de ruptura dos briquetes em função do percentual de epicarpo de macaúba. Verificou-se efeito significativo da adição do epicarpo da macaúba a composição das partículas para fabricação de briquetes.



REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





Figura 1. Valores médios da carga de ruptura (Kgf) dos briquetes em função do percentual (%) de epicarpo de macaúba.

Observa-se que a adição de até 50% de epicarpo de macaúba a composição das partículas para produção dos briquetes ocasionou um incremento na resistência dos mesmos. No entanto, ao incrementar maiores quantidades de partículas de madeiras de *Pinus* sp. para fabricação dos briquetes foi observado uma tendência de diminuição na resistência dos mesmos.

Este efeito provavelmente se deve ao fato de o resíduo de *Pinus* sp. apresentar menores valores de densidade aparente, o que corrobora com uma menor resistência para esta biomassa.

Ao analisar briquetes produzidos com madeira de diferentes espécies, Vilas Boas (2011) obteve valores médios de carga de ruptura variando entre 114,04 e 139,07 Kgf, resultados similares ao deste trabalho.

A análise de variância mostrou a adição de epicarpo de macaúba a composição das partículas não afetou na umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes, tendo média igual a 8,93%.

A umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes está de acordo com os valores registrados na literatura. Vilas Boas (2011), avaliando a produção de briquetes a partir de partículas de cinco espécies florestais, observou valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes entre 9,3 e 11,3%. Ainda segundo a mesma autora, o baixo percentual de umidade favorece o transporte, ou seja, diminui os custos visto que a quantidade de energia por volume transportado é muito maior.

Freitas et al, (2016) avaliando o efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá obtiveram valor médio de UEH igual a 10,7%, valor semelhante ao encontrado nos briquetes das matérias-primas de macaúba e *Pinus* sp.

4. CONCLUSÕES

Apesar das boas características energéticas do epicarpo da macaúba, os resíduos de *Pinus* sp. se destaca por apresentar maior poder calorífico superior e menor teor de cinzas;

Os Tratamentos 1 e 2, correspondentes a 100% Macaúba e, 75% Macaúba + 25% *Pinus*, respectivamente, apresentaram maiores médias de valores de densidade aparente e de densidade energética;

Os briquetes com altas proporções de epicarpo de macaúba em sua composição apresentam maior resistência quando comparado aos briquetes com composições elevadas de *Pinus* sp.;

A utilização de resíduos de macaúba para fabricação de briquetes é viável por conferir maior resistência e densidade energética ao produto, favorecendo sua utilização associado aos briquetes fabricados com resíduos de *Pinus* sp., podendo ser indicado a utilização de briquetes em maiores proporções do epicarpo da macaúba, a fim de diminuir os custos de produção na cadeia produtiva de briquetes fabricados com *Pinus* sp.;

Há viabilidade técnica de se aproveitar resíduos de macaúba e *Pinus* sp. para produção de briquetes.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa (LAPEM/UFV); à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); e à Sociedade de Investigações Florestais (SIF).



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard method for chemical analysis of charcoal. Philadelphia, 1982. 1042 p.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. S. Sustentabilidade no agronegócio brasileiro. Rio de Janeiro: FBDS, 2012. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: determinação da densidade básica da madeira. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Anexo B: Métodos de ensaio para determinação das propriedades das madeiras para projetos de estrutura: resistência a compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. Biomassa & Energia, Viçosa, v.2, n.2, p.141- 158, 2005.

BRAND, M. A.; MUNIZ, G. I. B.; VALIN, M.; QUIRINO, W. F. Influência da pressão e material nas propriedades de briquetes de biomassa florestal. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2009.

BRITO, J. O. BARRICHELO, L. E. G. MURAMOTO, M. C. HILTON, T. Z. C. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 150. Outubro/1982.

BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A. de; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.32, n.70, p.129, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.13>

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. Briquetagem – Capítulo 15. Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios. p. 613 a 636. Rio de Janeiro, 2004.

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

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2015. Balanço Energético Nacional 2015: Ano Base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2015. 62p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

EUROPEAN STANDARD NORME. EN 15103: Solid biofuels - Determination of bulk density. DIN EN 15103, Brussels 2010.

EVARISTO, A. B. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). 2015. 140 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

EVARISTO, A. B.; MARTINO, D. C.; FERRAREZ, A. H.; DONATO, D. B.; CARNEIRO, A. C. O.; GROSSI, J. A. S. Potencial energético dos resíduos do fruto da macaúba e sua utilização na produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 571-577, abr./jun., 2016.

FREITAS, A. J.; COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; ROCHA, M. F. V.; CARNEIRO, A. de C. O. Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá. *Nativa: pesquisas agrárias e ambientais*, Cuiabá – MT, v. 4, n. 6, p. 380-385, nov./dez. 2016.

McKendry, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, n. 83, p. 37-46, 2002. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3.

MENDES, L. M.; RABELO, G. F.; TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A. Resíduos: energia a partir de resíduos florestais. *Revista da Madeira*, Lavras, ed. 85, nov. de 2004.

MOTOIKE, S. Y. *et al.* A Cultura da Macaúba: Implantação e manejo de cultivos racionais. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.38, n.87, p.431-439, 2010.

PAULA, L. E. de R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; DE ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.33, n.66, p.103-112, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A. E. R. 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. Utilização energética de resíduos vegetais. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Brasília, 2002, 35 p.

RODRIGUES, V. A. J. Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem. 2010. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SCALET, V. Caracterização e confecção de briquetes da casca de licuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) para produção de energia. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, *Campus Sorocaba*, Sorocaba, 2015.

SILVA, C. A. da. Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Planejamentos de Sistemas

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

SOUZA, F.; VALE, A. T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 36, n. 88, p. 405-413, out./dez., 2016.

STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 8. 2009. (Software Estatístico).

TAVARES, M. A. M. Estudo da viabilidade da produção de briquete e seus possíveis impactos sobre o meio ambiente e o mercado de trabalho da Região do Baixo-Açu, RN. 2013. 245 f. Dissertação (Mestrado em Economia) –Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estudos-CEBRAP*, n. 79, p. 47-69, 2007.

TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L.A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Chichester, v.5, n.6, p.683-707, 2011.

VILAS BOAS, M. A. Efeito do tratamento térmico da madeira para a produção de briquetes. 2011. 65f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. In: Santos, F.; Colodette, J.; Queiroz, J. H. (Org.). *Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais*. 1ed.Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013, v. 1, p. 321-354.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

