



CARACTERIZAÇÃO DE BLENDA EM DIFERENTES PORCENTAGENS DE *PINUS SP.* E PÓ DE LIXA PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO

Lívia L. Aló*; Fábio M. Yamaji**; Tais R. B. de Souza***; Victória C. M. Pires****, Aline C. Ferragutti*****

* Bolsista PIBIC/CNPq, graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba, livialanzi@yahoo.com.br

** Projeto Universal/CNPq – Professor orientador - UFSCar campus Sorocaba, fmyamaji@ufscar.br

*** Graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba, taissouza@hotmail.com

**** Graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba, victoriacmpires@hotmail.com

***** Bolsista PIBIC/CNPq, graduanda do curso de Engenharia Florestal – UFSCar campus Sorocaba. alineferragutti@gmail.com

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo a caracterização da biomassa úmida e seca da serragem de *Pinus sp.* e do pó de lixa, respectivamente, com a finalidade de formar blendas com diferentes porcentagens de biomassa para aplicação na produção de biocombustível sólido. Para tal estudo utilizou-se os materiais, pó de lixa (40 a 200 mesh) com 5% de teor de umidade e serragem de *Pinus sp.* (100 a 200 mesh) com 30% de teor de umidade, os quais foram separados nos seguintes tratamentos: tratamento 1 com 17,5% teor de umidade; tratamento 2 com 13,5% teor de umidade; tratamento 3 com 10% teor de umidade. O pó de lixa apresentou umidade baixa, mostrando que é viável a sua mistura com a biomassa úmida do *Pinus sp.* com a finalidade de atingir uma umidade compatível para a produção das blendas. Para cada tratamento haviam 12 repetições. Após a compressão, em um intervalo de 48 horas, verificou-se a expansão dos briquetes, no qual o tratamento 2 apresentou o maior volume de expansão (6,52%). Em seguida, os briquetes foram submetidos a um ensaio de resistência da tração por compressão diametral, em que para o tratamento 1 a tensão máxima média foi de 1,095 MPa, a média da deformação máxima foi de 1,175 mm. Para o tratamento 2 a tensão máxima média foi de 1,342 MPa, a média da deformação máxima foi de 1,212 mm. O tratamento 3 possuiu, a média da deformação máxima de 1,137 mm e a média da tensão máxima de 1,188 MPa.

Abstract

Blends characterization in different percentages of Pinus sp. and sanding dust for the production of solid biofuel

This work aimed to characterize the wet and dry biomass of *Pinus sp.* and sanding dust sawdust, in order to form blends with different percentages of biomass for the application in the production of solid biofuel. For this study were used the materials sanding dust (40 to 200 mesh) with 5% of humidity content and *Pinus sp.* sawdust (100 to 200 mesh) with 30% of humidity content, which were separated in the following treatments: treatment 1 with 17,5% of humidity content; treatment 2 with 13,5% humidity content; treatment 3 with 10% of humidity content. The sanding dust presented a low humidity, showing that it's possible to mix it with *Pinus sp.* wet biomass, in order to achieve humidity compatible for the blends production. For each treatment there were 12 repetitions. After the compression, at an interval of 48 hours, it was verified the expansion of the briquettes, in which treatment 2 had the biggest volume of expansion (6,52%). Then, the briquettes were subjected to a resistance of traction by diametral compression test, in which for treatment 1 the average of maximum tension was 1,095 MPa, the average of maximum deformation was 1,175 mm. For the treatment 2, the average of maximum tension was 1,342 MPa, and the average of maximum deformation was 1,212 mm. The third treatment had an average of maximum deformation of 1,137 mm and the average of maximum tension was 1,188 MPa.

INTRODUÇÃO

A emergente preocupação envolvendo questões ambientais tem mobilizado diversos estudos com enfoque bioenergético propondo um uso racional da biomassa. Associado diretamente ao desenvolvimento da humanidade, está o aumento do consumo de energia, algo que ressalta a importância da busca por novas fontes alternativas, renováveis e limpas, para a geração de energia. Uma maneira simples de produzir energia é a compactação da biomassa vegetal, a briquetagem, onde resíduos de baixíssima densidade podem ser transformados em briquetes de qualidade, bastando atender às necessidades de granulometria e teor de umidade exigidos pelo processo (SILVA, 2007).

Considerando que a maioria dos resíduos produzidos nas fábricas possui alto teor de umidade (30% ou mais), Quirino (2001) cita que tal condição prejudica o empacotamento do material e também produz briquetes



sem estabilidade. Assim, uma solução é a utilização de blendas, ou seja, briquetes compostos, produzidos a partir de mais de um tipo de resíduo, com diferentes teores de umidade e porcentagens. Com isso, é possível obter-se médias ponderadas de suas propriedades e composições, o que permite um maior controle da qualidade dos briquetes e um direcionamento de suas características de acordo com seu uso final, sendo também uma alternativa para evitar-se a dependência econômica de um único tipo de matéria-prima (RODRIGUES *et al.*, sem data).

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização da biomassa úmida e seca da serragem de *Pinus sp.* e do pó de lixa, respectivamente, com a finalidade de formar blendas de diferentes porcentagens de biomassa para aplicação na produção de biocombustível sólido.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste estudo foram a serragem de *Pinus sp.* e o pó de lixa da madeira de *Eucalyptus sp.*, os quais passaram por processos descritos a seguir.

Trituração

A serragem de *Pinus sp.* passou por um processo de trituração utilizando-se o moinho Willey com a finalidade de obter um material em partículas menores.

Peneiramento

O material do *Pinus sp.* obtido a partir da trituração pelo moinho e o pó de lixa passaram por um processo de separação mecânica no classificador de partículas. Colocou-se 100g do material no classificador de partículas, durante 3 minutos em cada peneiramento, com a finalidade de obter granulometria menor que 40 mesh para o *Pinus sp.* e de 100 e 200 mesh para o pó de lixa.

Determinação da densidade

Para a determinação da densidade básica utilizou-se uma proveta de 1000 ml e uma balança de precisão. A determinação da densidade foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$D = m/v \quad (1)$$

Onde, m é a massa em gramas do material triturado e úmido; v é o volume visualizado na proveta de 1000 ml.

Determinação de umidade

Com a finalidade de determinar o teor de umidade, pesou-se 1g de *Pinus sp.* e 1g do pó de lixa na balança determinadora de umidade, na qual se obtém a umidade do material em poucos minutos.

Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi realizada com base na norma NBR 8112, onde as amostras de 1,1g do material isento de umidade e com granulometria inferior a 40 mesh. Foram colocadas em um cadinho previamente seco a 700°C e aquecidas em bico de Bunsen para a realização da combustão na capela. Em seguida, as amostras foram levadas para mufla a 700°C durante 3 horas para a realização da calcinação. Posteriormente os materiais foram resfriados no dessecador e pesados numa balança de precisão. O cálculo para a obtenção desta porcentagem é obtida pela Equação 2.

$$\text{Cinzas (\%)} = ((m2 - m1)/m) \times 100 \quad (2)$$

Onde, m é a massa da amostra isenta de umidade; $m1$ é a massa do cadinho e $m2$ é a massa do cadinho mais o resíduo após mufla, todos em gramas.

Processo de secagem e umedecimento do material



Os materiais utilizados neste estudo já haviam passado por um processo de secagem na estufa para seu armazenamento. Para a produção de briquetes com o teor de umidade desejado foi necessário a secagem do pó de lixa e a umidificação da serragem de *Pinus* sp.. O pó de lixa, separado no classificador de 100 a 200 mesh, que apresentava 7,68% de umidade foi colocado na estufa com temperatura de 100°C durante 3 horas para que atingisse uma umidade de 5%. Já a serragem de *Pinus* sp, separado nos meshes de 40 a 200, que apresentava 11,95% de umidade, foi umedecido e homogeneizado para que atingisse uma umidade de 30%.

Briquetagem das blendas

Para o processo de briquetagem utilizou-se uma prensa hidráulica de 15t e um molde de aço inox com 3,5cm de diâmetro e 16cm de altura, onde se adicionou 20g no total de uma mistura dos materiais de *Pinus* sp. e pó de lixa em diferentes porcentagens (tratamentos), os quais foram compactados com uma pressão de 12t durante 30 segundos.

Tabela 1: Teores de umidade dos tratamentos e suas porcentagens de *Pinus* sp. e pó de lixa.
Table 1: Humidity content of the treatments and their percentages of *Pinus* sp. and sanding dust.

Tratamentos (U%)	Pó de Lixa (%)	<i>Pinus</i> sp. (%)
17,5	50	50
13,5	65	35
10	80	20

Os materiais, pó de lixa (40 a 200 mesh) com 5% de teor de umidade e serragem de *Pinus* sp. (100 a 200 mesh) com 30% de teor de umidade, foram separados nos seguintes tratamentos para a produção de briquetes: Tratamento 1, misturou-se 50% (10g) de pó de lixa e 50% (10g) de serragem de *Pinus* sp., ficando com 17,5% de teor de umidade; Tratamento 2, foi misturado 65% (13g) de pó de lixa e 35% (7g) de serragem de *Pinus* sp., ficando com 13,5% de teor de umidade; Tratamento 3, mesclou-se 80% (16g) de pó de lixa e 20% (4g) de serragem de *Pinus* sp., ficando com 10% de teor de umidade.

Produziu-se 12 briquetes para cada tratamento e durante a prensagem não se utilizou nenhum tipo de aglutinante nem temperatura. Após a compressão, retirou-se o briquete formado do molde e realizou-se com a ajuda de um paquímetro digital medições de sua altura e diâmetro para avaliar a expansão dos mesmos. Posteriormente os briquetes permaneceram no dessecador para manter a umidade controlada e avaliar a expansão que sofreram no período de 48 horas.

Ensaio mecânico de tração por compressão diametral dos briquetes

Após 48 horas da formação das blendas, foi realizado na máquina universal de ensaios EMIC DL30000N, os ensaios mecânicos de tração por compressão diametral, para averiguação da resistência mecânica dos briquetes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Peneiramento

A granulometria encontrada para o *Pinus* sp. e para o pó de lixa estão descritos na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Resultados da granulometria dos materiais estudados.
Table 2: Particle size results of the studied materials.

Granulometria (mesh)	Biomassa (g)	
	<i>Pinus</i> sp.	Pó de lixa
20	37,33	0,01
40	4,31	0,37
60	38,17	8,32
100	14,47	65,7
200	4,47	23,32
Fundo	1,25	2,28



A partir dos dados encontrados na Tabela 2, elaborou-se o Gráfico da Figura 1, o qual ilustra os resultados obtidos.

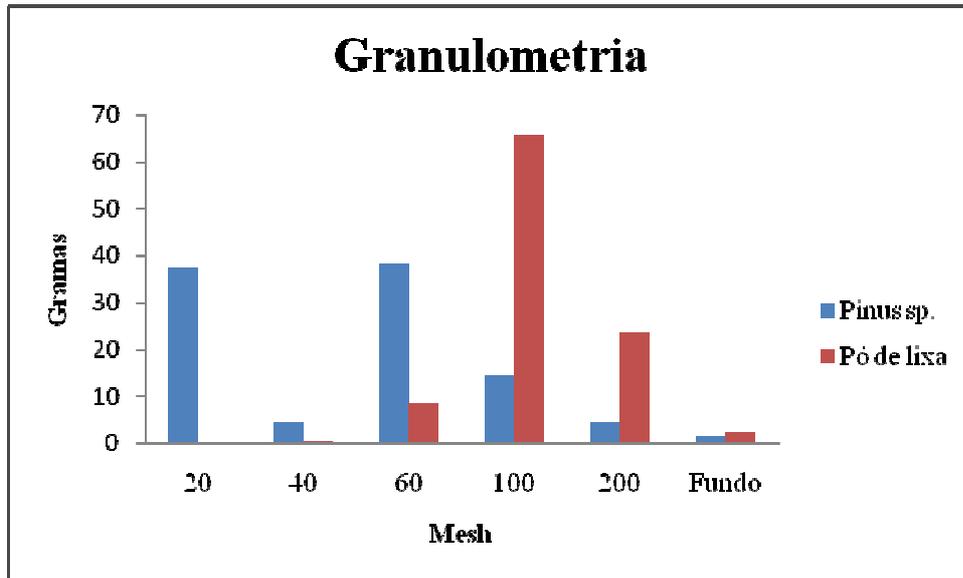


Figura 1: Análise Granulométricas da biomassa de *Pinus* sp. e pó de lixa.
 Figures 1: Particle size analysis of *Pinus* sp. and sanding dust biomass.

É possível observar que os materiais apresentaram granulometria distintas, em que o pó de lixa possui a maior parte de suas partículas nos meshes de 100 e 200, ao contrário do *Pinus* sp., o qual possui partículas maiores que estão concentradas nos meshes de 20 e 60.

Determinação do teor de umidade, densidade e teor de cinzas

Os resultados encontrados para o teor de umidade, densidade e teor de cinzas estão descritos na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Resultados encontrados para o teor de umidade, densidade e teor de cinzas.
 Table 3: Results for the humidity content, density and ashes content.

Biomassa	Teor de Umidade (%)	Densidade (g/cm ³)	Teor de Cinzas (%)
<i>Pinus</i> sp.	11,95	0,26	0,62
Pó de lixa	7,68	0,32	3,07

O teor de umidade encontrado para o *Pinus* sp. foi maior em relação ao pó de lixa, o qual apresentou umidade baixa de 7,68%. Este resultado indica a viabilidade na utilização de ambos, uma vez que através da mistura da biomassa úmida e seca analisada pode-se atingir uma umidade compatível para a produção de biocombustível sólido. Segundo Rodrigues et. al., (sem data), o teor de umidade é de extrema importância, pois possui grande influência no poder calorífico da biomassa, já que a uma maior quantidade de água do material diminui o poder de combustão do briquete. Desta maneira, esta poderá diminuir os custos de produção de blendas, visto que o processo de secagem leva tempo e é custoso.

A densidade básica do pó de lixa apresentou um maior valor, 0,32 g/cm³, em relação ao *Pinus* sp., 0,26 g/cm³, isto se deve ao menor tamanho das partículas do pó de lixa, aumentando o seu grau de compactação, devido a menor presença de ar entre as mesmas (SILVA & MORAIS, 2008).

Os materiais utilizados possuem uma grande mistura heterogênea a complexa de constituintes orgânicos e inorgânicos, o que faz com que a determinação do teor de cinzas seja indispensável na sua caracterização, visto que a constituição inorgânica da biomassa pode influenciar nos seus processos de combustão (SANTOS et. al., 2009). O teor de cinzas encontrado para o *Pinus* sp. foi de 0,62%, o que segundo Moraes et. al. (2005), está dentro dos valores encontrados na literatura para esta espécie que está em torno de 0,5%. Já o teor de cinzas para o pó de lixa foi alto, 3,07%, isto se deve ao resíduo inorgânico da lixa junto com a madeira do eucalipto, que

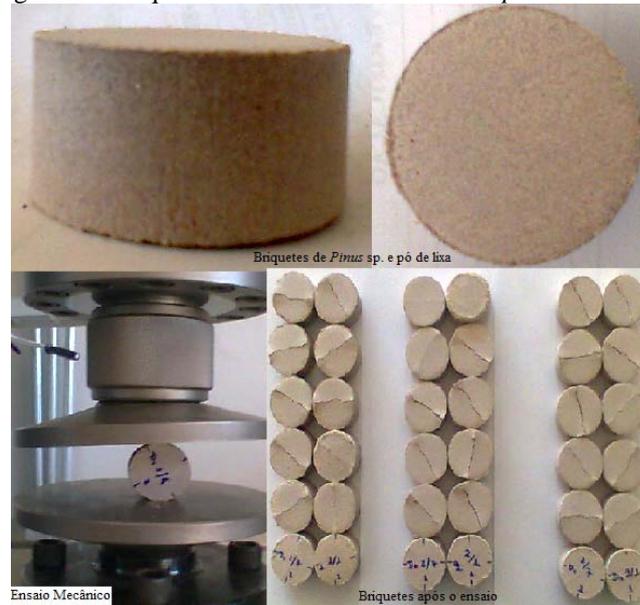


segundo ABTCP (2010), apresenta valores de 0,3 a 0,8%, enquanto que o teor de cinzas da casca de eucalipto pode chegar a 2 a 8%.

Briquetagem

As imagens da Figura 2 mostram os briquetes de blenda de *Pinus* sp. e pó de lixa, o ensaio mecânico realizado e os 36 briquetes após o ensaio mecânico apresentando rachaduras em seus corpos.

Figura 2: Imagem dos briquetes obtidos a partir da blenda de *Pinus* sp. e pó de lixa.
Figure 2: Image of the briquettes obtained from the *Pinus* sp. and sanding dust blends.



A Tabela 4, mostra a análise da densidade aparente através do método estequiométrico dos 3 tratamentos realizados logo após a prensagem.

Tabela 4: Análise da densidade dos três tratamentos pelo método estereométrico, após a prensagem.
Table 4: Density analysis of the three treatments by the stereometric method, after the pressig.

Médias	Raio (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Tratamento 1	1,79	1,86	18,60	20,00	1,08
Tratamento 2	1,78	1,78	17,79	20,00	1,12
Tratamento 3	1,79	1,78	17,90	20,00	1,12

Observou-se na Tabela 4 que os briquetes obtidos apresentaram um volume médio de 18,10 cm³, onde o tratamento 1 possuía maiores valores de expansão (18,60 cm³) durante os procedimentos de medição em relação aos demais, entretanto os briquetes mais densos foram aqueles do tratamento 2 e 3 com 1,12 g/cm³. Essa variação entre as densidades é devido a diferenças nas composições dos resíduos e nas morfologias das fibras. A alta densidade dos briquetes favorece um melhor acondicionamento, pois possuem menor volume.

A Tabela 5, mostra a análise da densidade aparente através do método estequiométrico dos 3 tratamentos realizados após 48 horas

Tabela 5: Análise da densidade dos três tratamentos pelo método estereométrico, após 48 horas.
Table 5: Density analysis of the three treatments by the stereometric method, after 48 hours.

Médias	Raio (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Tratamento 1	1,79	1,95	19,50	19,69	1,01
Tratamento 2	1,80	1,86	18,95	19,71	1,04
Tratamento 3	1,80	1,86	18,82	19,79	1,05



Após 48 horas, os briquetes foram medidos e pesados novamente para verificação da expansão (Tabela 5). Em todos os tratamentos houve expansão dos briquetes, onde no volume médio foi de 5,47% de expansão, sendo o tratamento 2 com a maior expansão (6,52%). Com relação a massa dos briquetes houve uma redução em média de 0,27g para cada briquete, isso é, 1,35% de perda em gramas de material, onde o tratamento 1 foi o que teve uma maior perda (0,31g ou 1,55%). A densidade também teve uma redução considerada em todos os tratamentos em torno de 7,21%, onde o tratamento 2 obteve a maior perda de densidade em torno de 7,14%. Conforme os valores do tratamento 2, podemos verificar que quando há um aumento no volume, há uma diminuição da densidade.

Análise de resistência da tração por compressão diametral dos briquetes

A aplicação dos ensaios mecânicos de resistência da tração por compressão diametral (tensão) sobre os briquetes causou deformação que pode ser visualizada nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3: Gráfico da Tensão pela Deformação tratamento 1.
Figure 3: Graphic of tension by the deformation of the treatment 1.

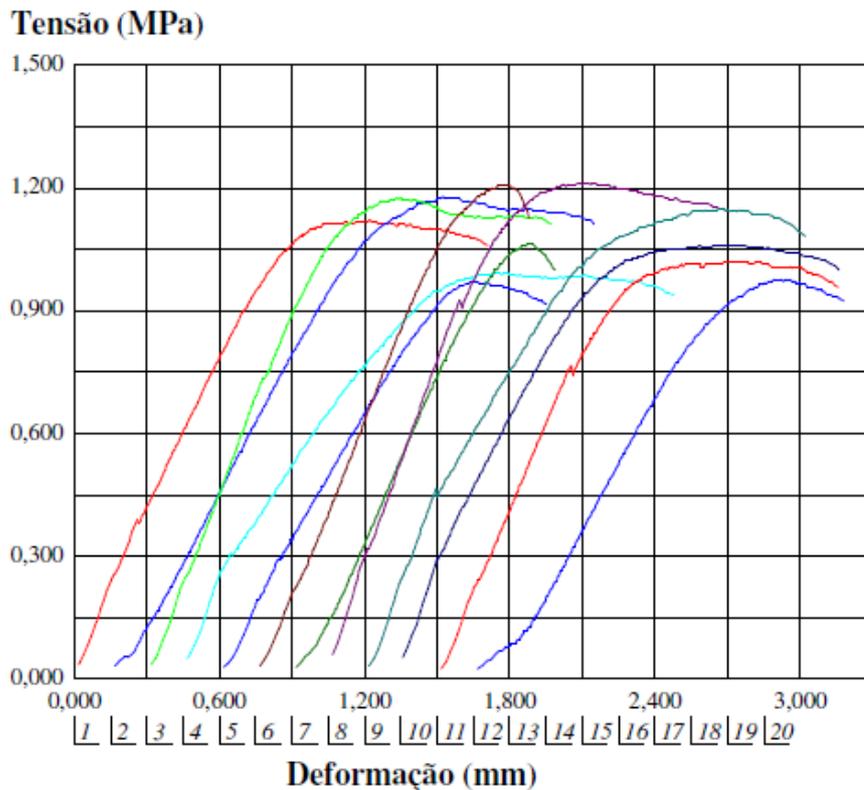


Tabela 6: Valores obtidos no ensaio de tração por compressão diametral do tratamento 1.
Table 6: Obtained values in the test of traction by diametral compression of the treatment 1.

Tratamento 1	Volume (mm ³)	Força Máxima (Kgf)	Deformação Máxima (mm)	Tensão Máxima (MPa)
Média	19490,0	77,510	1,175	1,095
Mínimo	18700,0	69,350	0,973	0,971
Máximo	20380,0	84,910	1,468	1,214

O gráfico do tratamento 1 observado na Figura 3 mostra que as repetições não possuem um comportamento semelhante durante os ensaios de tensão, onde a tensão máxima média foi de 1,095 MPa, a média da deformação máxima foi de 1,175 mm e a força máxima média foi 77,51 Kgf. O briquete 8 (corpo de



prova) foi o que suportou a maior força máxima com 84,91Kgf e o briquete 5 a menor força máxima com 69,35 Kgf (Tabela 6). Essa diferença entre as forças máxima e mínima pode ter ocorrido devido ao mau posicionamento do briquete no momento do ensaio mecânico.

Figura 4: Gráfico da Tensão pela Deformação tratamento 2.
Figure 4: Graphic of tension by the deformation of the treatment 2.

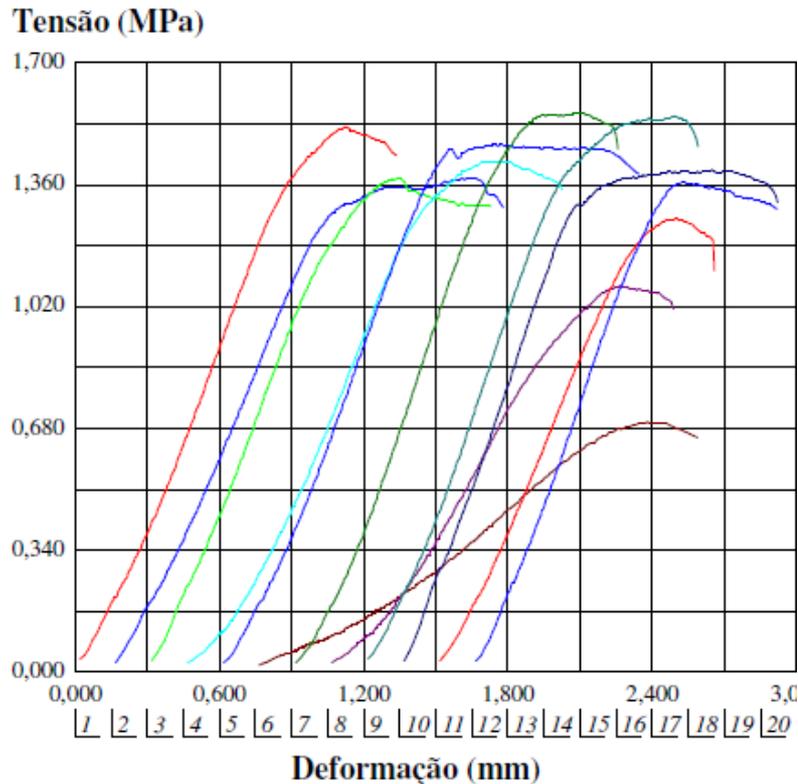


Tabela 7: Valores obtidos no ensaio de tração por compressão diametral do tratamento 2.
Table 7: Obtained values in the test of traction by diametral compression of the treatment 2.

Treatment 2	Volume (mm ³)	Force Maximum (Kgf)	Deformation Maximum (mm)	Tension Maximum (MPa)
Média	18890,0	91,200	1,212	1,342
Mínimo	18320,0	52,500	0,873	0,700
Máximo	20890,0	106,300	1,632	1,56

Na Figura 4 é possível observar que a maioria dos briquetes possuiu um comportamento semelhante, com exceção o briquete 6. A tensão máxima média foi de 1,342 MPa, a média da deformação máxima foi de 1,212 mm e a força máxima média foi 91,20 Kgf (Tabela 7). O briquete 6 possuiu a menor força máxima com 52,50 Kgf, grande diferença entre a média e a máxima, isso pode ter ocorrido devido a uma rachadura existente neste briquete antes do ensaio mecânico. Com esses valores é possível dizer que os briquetes do tratamento 2 possuíram boa resistência mecânica.



Figura 5: Gráfico da Tensão pela Deformação tratamento 3.
 Figure 5: Graphic of tension by the deformation of the treatment 3.

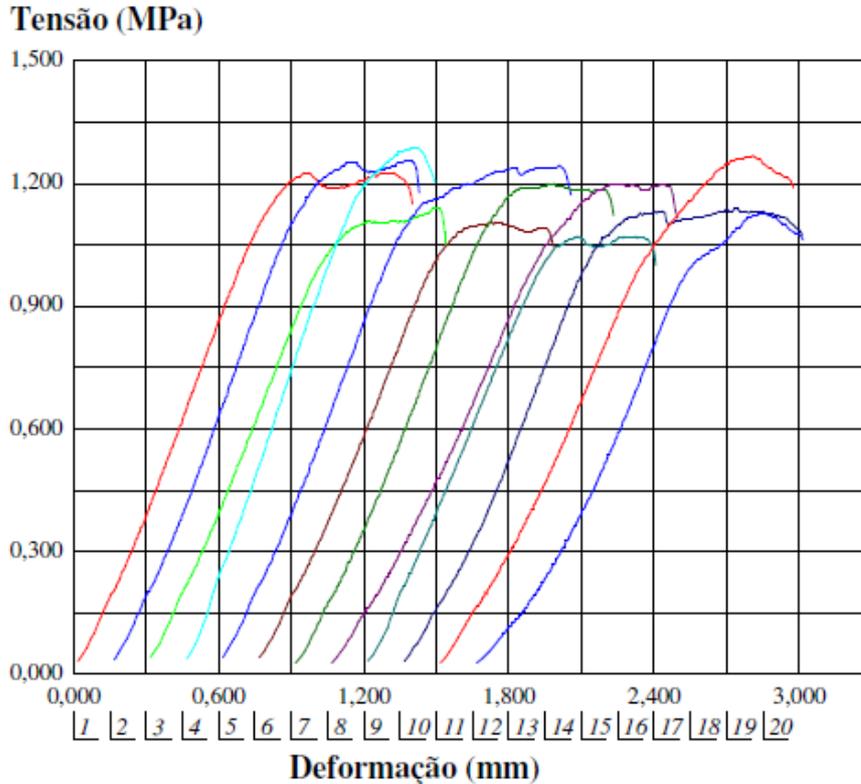


Tabela 8: Valores obtidos no ensaio de tração por compressão diametral do tratamento 3.
 Table 8: Obtained values in the test of traction by diametral compression of the treatment 3.

Tratamento 3	Volume (mm ³)	Força Máxima (Kgf)	Deformação Máxima (mm)	Tensão Máxima (MPa)
Média	18900,0	81,100	1,137	1,188
Mínimo	18370,0	74,860	0,882	1,072
Máximo	20250,0	87,180	1,411	1,286

No tratamento 3 conforme a Figura 5 é possível observar que todos os briquetes possuíram um comportamento semelhante durante os ensaios de tensão. A média da força máxima foi de 81,10 Kgf, a média da deformação máxima foi de 1,137 mm e a média da tensão máxima de 1,188 MPa. As diferenças entre a menor e maior força máxima foram mínimas, mostrando que o processo de compactação das blendas foi satisfatório, proporcionando boa resistência mecânica.

CONCLUSÃO

Os materiais utilizados neste trabalho apresentaram granulometria distintas e teores de cinzas e umidade dentro dos valores encontrados na literatura. O pó de lixa apresentou umidade baixa, mostrando que é viável a sua mistura com a biomassa úmida do *Pinus* sp. com a finalidade de atingir uma umidade compatível para a produção de briquetes.

A caracterização da biomassa úmida e seca mostrou-se indispensável para uma análise detalhada dos materiais estudados e na determinação da sua eficiência na forma de biocombustível sólido.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisas - CNPq pelo financiamento do projeto (Edital 20/2009 - Linha de Pesquisa 1: Biomassa) e pelas bolsas concedidas.



REFERÊNCIAS

ABTCP. Forest Brazil- As Florestas Plantadas de Eucalipto e a Utilização de Fertilizantes. Disponível em: <<http://www.forestbrazil.com.br/portal/noticias.php?id=00021>>. Acesso em 15 maio 2011.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. Viçosa, v. 29, n. 3, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000300014&script=sci_arttext>. Acesso em 13 maio 2011.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos ligno – celulósicos. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/briquetagem.pdf>>. Acesso em 23 Maio 2011.

RODRIGUES, L. D.; da et al. **Uso de Briquetes Compostos para Produção de Energia no Estado do Pará.** Universidade Federal do Pará. Sem data.

SANTOS, S. **Avaliação da Qualidade Analítica na Determinação dos Teores de Cinzas em Amostras de Carvão.** Rio Grande do Sul, 2009. Faculdade de Química, PUCRS, Centro de Excelência em Pesquisa sobre armazenamento de Carbono, CEPAC.

SILVA, M. B.; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008, Rio de Janeiro.

SILVA, C. A. da; ROCHA, J. D. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos.** 2007. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade estadual de Campinas, Campinas, 2007.