



CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO ENTRE SERRAGEM, CAVACO E PELLET DE *PINUS SP*

¹Verônica Scalet (ve.scalet@gmail.com), ¹Luis Ricardo O. Santos (lirtatui@gmail.com), ¹Fábio M. Yamaji (fmyamaji@ufscar.br)

¹Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*

Program de pós-graduação em Ciência dos Materiais (PPGCM) – Rod. João Leme dos Santos, Km 110, SP 264, Sorocaba – SP.

RESUMO: A busca por energias renováveis tem se intensificado nos últimos anos e é importante caracterizar os materiais potencialmente atrativos para a produção dessa energia, como a serragem, o cavaco de lenha verde e o pellet, para que esses materiais possam ser utilizados em grande escala. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar amostras de serragem, cavaco e pellets de *Pinus sp.* Para isso, caracterizaram-se os materiais a partir de sua umidade, densidade (com seis repetições), granulometria, teor de cinzas e teor de voláteis com quatro repetições, carbono fixo e poder calorífico, conforme NBR 8112/86 e NBR 8633/84. A comparação entre as amostras foi realizada por meio de teste estatístico ANOVA e Teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade. Foi observado que o cavaco apresentou o mais elevado teor de umidade (63%), seguido da serragem que apresentou a menor densidade (0,225 g/cm³), sendo o pellet o mais denso (0,623 g/cm³) e menos úmido (9,2%) das amostras, tornando-o o material mais atrativo para o uso como combustível devido a não incidência do custo com transporte e secagem. Já para o teor de cinzas e voláteis a diferença não foi significativa entre os tratamentos, apresentando valores próximos do esperado. De modo geral, o uso de pellets, que apresentou o maior poder calorífico, como combustível sólido pode representar ganho na geração de energia e redução de custos.

Palavras Chave: biomassa, bioenergia, resíduo.

CHARACTERIZATION AND COMPARISON OF *PINUS SP* SAWDUST, CHIPS AND PELLETS

ABSTRACT: There is a great growth in researches about renewable energy nowadays and is important the characterization of potential materials for energy production, like sawdust, wood chip and pellet, for perhaps these materials might be used in large scale. The purpose of this research was the characterization of *Pinus sp* sawdust, chips and pellets. To do this, the materials were characterized like its moisture content, density, particle size, ash and volatile content and fixed carbon content, using NBR 8633/84 e NBR 8112/86. The ANOVA and Tukey Test, both with 5% of probability, were used for the comparison among the samples. The chips presented the highest moisture content (63%), secondly was the sawdust with the lower density (0,225 g/cm³), the pellet was the highest density (0,623 g/cm³) and with the lower moisture content (9,2%), with this results, the pellet become the more attractive material for energy production because of the lowest costs with transportation and drying process. For ash and volatile content the difference among the samples was not significant, with expected values. Generally, use pellets, which showed the high calorific value, like solid fuel might represent an improvement in energy production and cost savings.

Keywords: biomass, bioenergy, residue.

1. INTRODUÇÃO

A partir do século XX o petróleo e o gás natural se tornaram as principais fontes de energia, o que fez elevar os níveis de CO₂ na atmosfera e reduzir as reservas desses combustíveis. Além disso, a energia está ligada diretamente ao desenvolvimento econômico e social de uma nação, e com as previsões de crescimento econômico e populacional em todo o planeta, a energia provinda de origem fóssil poderá não ser suficiente (DIAS et al., 2012). Assim, a energia tornou-se um recurso cada vez mais escasso e custoso, levando à busca por energias renováveis, sendo uma delas a biomassa.

A matriz energética renovável brasileira é diversificada (hidroelétrica, eólica, biomassa, entre outras) e em muitos casos muito eficiente. Pode-se definir biomassa como matéria orgânica não fóssil de origem vegetal, animal ou microbiana (DIAS et al., 2012)

Atualmente, no Brasil, as principais fontes de biomassa vegetal são a cana de açúcar, gramíneas, palmáceas e espécies florestais, além de resíduos agrícolas e de indústrias madeireiras e de Papel e Celulose (COUTO, 2010), há também fontes de biomassa animal como esterco e resíduos de matadouros. Entre os resíduos de indústrias madeireiras um dos mais comuns são os de *Eucalyptus* sp e *Pinus* sp, os mais cultivados no país atualmente.

Esses resíduos podem ser utilizados diretamente na forma de serragem ou cavaco, ou então podem ser secos e comprimidos para formarem granulados cilíndricos, que podem variar de seis a oito milímetros de diâmetro, conhecidos como pellets (SILVA, 2012), e que apresentam como principais vantagens o melhor desempenho operacional e logístico (DIAS et al., 2012) .

Por isso, a caracterização desses materiais é importante para que, conhecendo suas propriedades, seja possível aplicá-los com mais intensidade na produção de energia limpa. O objetivo do presente trabalho foi caracterizar algumas das propriedades desses materiais como a densidade, o teor de umidade, a granulometria, os teores de cinzas, voláteis e carbono fixo e o poder calorífico, e comparar a serragem, o cavaco e o pellet de *Pinus* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A serragem e o cavaco de *Pinus* sp (Figura 1-A e Figura 1-B) foram coletados em serrarias na região de Itapetininga, interior de São Paulo (Figura 2-A). O pellet (Figura 1-C) foi coletado de uma indústria que o produz na cidade de Porto Feliz, também interior de São Paulo (Figura 2-B), confeccionado a partir de madeira de *Pinus* sp. A caracterização do material foi dada pela determinação do teor de umidade, densidade a granel, granulometria e da análise imediata. O teor de umidade foi obtido conforme NBR 7190/97, pela diferença da massa inicial e massa seca de cada amostra submetida à secagem na temperatura aproximada de 103 °C até a estabilização do peso da amostra.

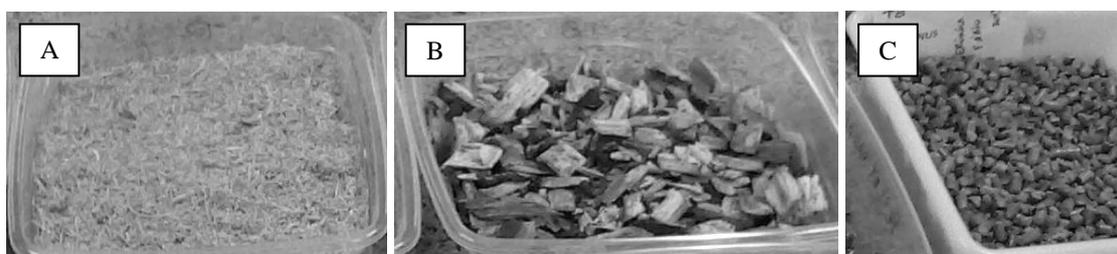


Figura 1. Materiais analisados. A) Serragem de *Pinus* sp. B) Cavaco de *Pinus* sp. C) Pellet de *Pinus* sp.

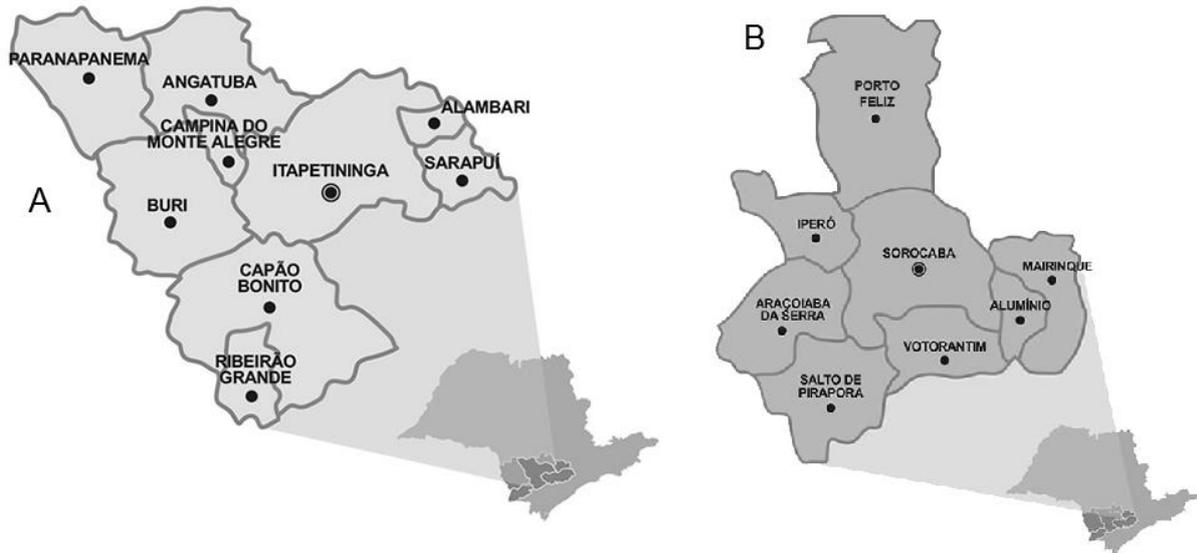


Figura 2. Locais de coleta do material. A) Região de Itapetininga. B) Região de Porto Feliz. (Adaptado de CIESP, 2014)

Para a densidade foi utilizada uma proveta de 1000 ml (Figura 3), tarou-se seu peso em balança, acrescentou-se os materiais na proveta até o seu volume total e então mediu-se o peso da proveta com o material. Tal procedimento foi realizado seis vezes, obtendo-se a média dos valores.

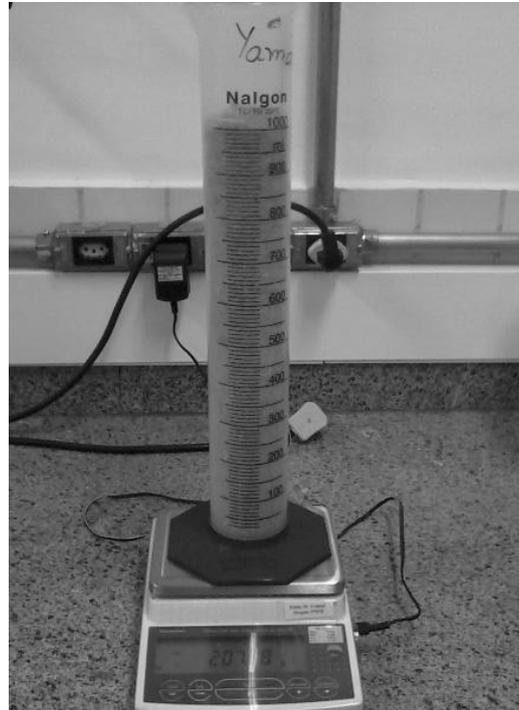


Figura 3. Proveta para análise da densidade.

Para os teores de cinzas, voláteis e carbono fixo foi utilizada a norma NBR 8112/86. O cavaco e os pellets foram moídos a fim de se obter o pó para execução dos

procedimentos. Para o teor de cinzas utilizou-se 1g de amostra com mufla a $\pm 600^{\circ}\text{C}$ e para o teor de voláteis também 1g de amostra, porém com mufla a $\pm 900^{\circ}\text{C}$, sendo o procedimento repetido quatro vezes para ambas as análises. O teor de carbono fixo foi obtido pela subtração da soma entre teor de cinzas e teor de voláteis do total (eq. (1)).

$$\text{CarbonoFixo} = 100 - (\% \text{Cinzas} + \% \text{Voláteis}) \quad (1)$$

Realizou-se a análise granulométrica (Figura 4) com uma amostra de 100g e a pesagem de cada amostra retida nas peneiras de 12,5 mm, 5, 10, 20, 40, 60 mesh e fundo. Para a densidade, os teores de cinza, voláteis e carbono fixo, foi realizada ANOVA a 5% e Teste de Tukey para verificar se havia diferença significativa entre os tratamentos.



Figura 4. Peneiras utilizadas na análise granulométrica.

O poder calorífico superior das amostras foi obtido a partir da metodologia proposta pela NBR 8633/84 com duas repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As primeiras características avaliadas, o teor de umidade inicial das amostras e a densidade, estão apresentados na Tabela 1. A umidade entre as amostras variou de 63,0% para o cavaco a 9,2% para o pellet (uma variação de 53,8%). É possível observar também que a umidade foi significativamente inferior na amostra de pellet quando comparado as amostras de serragem e cavaco. A elevada umidade nas amostras de serragem e cavaco era esperada, estudos já realizados por Gentil (2008) e Teixeira (2005) já apresentaram teores de umidade na faixa dos 40 a 50%. Os pellets por serem processados, apresentam teor de umidade inferior.

Tabela 1. Teores de umidade e densidade verificadas para as amostras.

Tratamento	Umidade (%)	Densidade Média (g/cm ³)
Serragem de <i>Pinus</i> (a)	54,3	0,225
Cavaco de <i>Pinus</i> (b)	63,0	0,287
Pellet de <i>Pinus</i> (c)	9,2	0,623

Gentil (2008) recomenda que a umidade para materiais que serão utilizados na queima devem ter teor de umidade variando entre 5 a 15%, o que é observado nos pellets, tornando-os mais atrativos quando o quesito avaliado é a umidade.

Para a densidade, o valor obtido para a amostra de serragem foi muito próximo ao observado na literatura por Rosário (2011), que verificou o valor de 0,273 g/cm³ para uma serragem em que as madeiras de *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp estavam misturadas. Ao compararmos a amostra de serragem com a de cavaco, temos que o cavaco é 27% mais denso que a serragem, enquanto que ao compará-lo com o pellet, o cavaco se mostrou 46% menos denso, essa diferença pode ser observada na ANOVA, em que foi possível verificar que há diferença significativa entre as amostras. Com o teste de Tukey verificou-se que a amostra de serragem difere estatisticamente das amostras de pellet e cavaco, bem como as amostras de pellet e cavaco diferem entre si a uma probabilidade de 5%. Essa diferença é justificada pela compactação do material para a formação dos pellets.

A gralunometria verificada nas amostras está apresentada na Tabela 2. O cavaco foi o único que apresentou material retido na peneira de 12,5 mm, apresentando 80% do material nessa granulometria, para os pellets, 100% da amostra ficou retida na peneira de 5 mesh enquanto que para a serragem a peneira com maior porcentagem de material retido foi a de 20 mesh, com 34,5%. A Figura 5 apresenta a distribuição do material, em porcentagem, retido em cada peneira para cada uma das amostras.

Tabela 2. Gralunometria: percentual de material retido em cada peneira.

Peneira (mesh)	% retida Serragem <i>Pinus</i> sp	% retida Cavaco <i>Pinus</i> sp	% retida Pellet <i>Pinus</i> sp
12,5 mm	0	80,1	0,0
5	13,4	19,2	100
10	10,6	0,3	0,0
20	34,5	0,2	0,0
40	24,2	0,1	0,0
60	11,6	0,1	0,0
Fundo	5,7	0,1	0,0

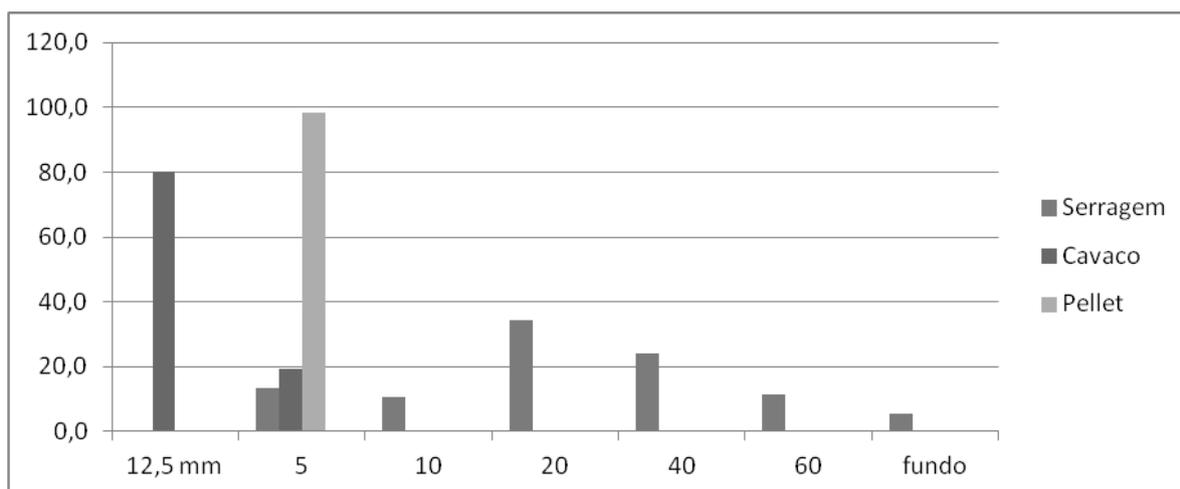


Figura 5. Distribuição granulométrica das amostras.

Os teores de cinza, voláteis e carbono fixo estão apresentados na Tabela 3. A amostra de pellet foi a que apresentou maior teor de cinzas (6,4%), foi também a que apresentou menor teor de voláteis (81,3%). O maior teor de voláteis foi verificado na amostra de cavaco (87,8%) e a maior porcentagem de carbono fixo foi verificada na amostra de pellet (12,3%), em contrapartida a amostra de serragem foi a que apresentou a menor porcentagem de carbono fixo (8,3%), diferença que pode ser explicada pela possível contaminação do material por impurezas como areia, por exemplo.

A ANOVA (5%) foi realizada para o teor de cinzas e para o teor de voláteis e pôde-se verificar que não houve diferença significativa entre as três amostras (serragem, cavaco e pellet). O resultado era esperado uma vez que os materiais proveem de madeira da mesma espécie, o *Pinus* sp, diferenciando-se apenas quanto a sua forma.

Tabela 3. Teores de cinza, voláteis e carbono fixo para cada uma das amostras.

Tratamento	%Cinzas	%Voláteis	%C fixo
Serragem de <i>Pinus</i> sp	5,3 ± 0,6	86,4 ± 2,8	8,3
Cavaco de <i>Pinus</i> sp	1,5 ± 0,5	87,8 ± 3,4	10,7
Pellet Serragem de <i>Pinus</i> sp	4,5 ± 0,6	81,3 ± 4,1	14,2

Os valores elevados de teor de cinzas nas amostras de serragem e pellet, como já citados anteriormente, podem ser justificados por excesso de impurezas nas amostras, o que pode torná-los pouco atrativo para queima, pois as cinzas podem aderir ao equipamento e tubulações, prejudicando o processo de queima.

Para o teor de voláteis, quanto mais elevado, mais rápida ocorre a combustão (PEREIRA, 2000), favorecendo a amostra de pellet, que apresentou a menor porcentagem de voláteis. Por fim, para o carbono fixo, quanto mais elevado, mais lenta será a combustão, o que é preferível, sendo o pellet, mais uma vez, o que apresentou a maior porcentagem de carbono fixo.

Por fim, para o poder calorífico superior foram obtidos para a serragem 4021 Kcal, para o cavaco 3438 Kcal e para o pellet 4289 Kcal, resultados compatíveis com os observados na literatura.

4. CONCLUSÃO

Embora na análise dos teores de cinza e voláteis não tenha havido diferença significativa entre os tratamentos, a amostra de pellet apresentou características superiores para ser utilizada como material combustível quando comparada com a serragem e o cavaco. No critério densidade, apresentou maior densidade, o que leva a maior rendimento no transporte e menor área de estocagem, reduzindo custos. No critério umidade, apresentou valor na faixa do desejável para combustíveis (entre 5 e 15%), enquanto as amostras de serragem e cavaco apresentaram altos valores de umidade, acima de 40%, o que leva a aumento dos custos pois se faz necessário a secagem do material antes de seu uso, para que não haja perda de rendimento.

Dessa forma, dentre os materiais analisados, o pellet produzido a partir de madeira de *Pinus* sp, apresentou as melhores características como combustível sólido.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto e à CAPES pela bolsa de mestrado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). **NBR 8633/84 - Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico – Método de ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). **NBR 8112/86 - Carvão vegetal: análise imediata**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190/97 – Projeto de estruturas de madeiras**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ.

CIESP SOROCABA. **Mapa das Sub-regiões**. 2014. Disponível em: <<http://www.ciespsorocaba.com.br/mapa-sede-sorocaba.php>>. Acesso em Fevereiro de 2014.

COUTO, L. **Produção de biomassa florestal em escala comercial a partir de plantações adensadas de eucalipto em curta rotação**. 1º Encontro de Energias Inteligentes. RENABIO Londrina-PR, 2010.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de Briquetes e Péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. EMBRAPA Agroenergia, 2012. ISSN: 2177-4439

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. 195 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Publicação EFL TD. Departamento de Engenharia Florestal. Universidades de Brasília. Brasília-DF.

PEREIRA, J. C. D. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **EMBRAPA Florestas**, 2000. Colombo, Paraná. ISSN: 1517-536X. Documento 38.

ROSÁRIO, L. M. Briquetagem **visando utilização de resíduos de uma serraria**. 2011. 37 p. Monografia (Departamento de Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

SILVA, D. A. **A indústria de pellet e perspectivas de mercado**. Anais: 4º Congresso Florestal Paranaense. 2012. Curitiba, Paraná. ISSN: 2316-221X

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação dos conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 132 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

7. NOTA DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(eis) pelo que está contido neste trabalho.