

RESÍDUOS DO SETOR MADEIREIRO: APROVEITAMENTO ENERGÉTICO¹

Wood Industry Residues: Energy Utilization

Giorgiana Freitas Pinheiro², Gonçalo Rendeiro³ e João Tavares Pinho⁴

Resumo: A extração, o desdobro e o beneficiamento da madeira estão entre as principais atividades econômicas desenvolvidas no Estado do Pará, tendo sido consumidos cerca de 11 milhões de metros cúbicos de madeira em tora em 1998. Considerando que o rendimento durante o processamento é em média 40% do total da madeira extraída, pode-se estimar para aquele ano uma quantidade de resíduos gerados pela indústria madeireira de 6,5 milhões de metros cúbicos. A utilização destes resíduos para geração de energia, no Estado do Pará, apresenta-se, em princípio, como uma alternativa viável, tanto em função do quantitativo de resíduos gerados, quanto por ser uma solução para o seu descarte. Porém, a viabilidade de sua utilização deve ser avaliada criteriosamente, através do levantamento da disponibilidade desses resíduos nas diversas regiões do Estado, incluindo a logística para seu aproveitamento, bem como devem ser estudadas as características técnicas para sua utilização como combustível. Este trabalho apresenta os resultados de ensaios de laboratório realizados em amostras de resíduos obtidos em empresas madeireiras do Estado do Pará, com o objetivo de obter informações preliminares a respeito de suas características para fins energéticos.

Palavras-chave: Biomassa, geração de energia, características termofísicas e indústria madeireira.

Abstract: The extraction, log-sawing and processing of wood is one of the main economic activities in the State of Pará, consuming around 11 million cubic meters of wood logs in 1998. Considering an average processing yield of 40% of the total extracted wood, it can be estimated that a total of 6.5 million cubic meters of residues on average was generated in 1998 for wood industry in the State of Pará. The use of residues for energy generation, is, in principle, viable, both in function of the amount of residues generated, and as a solution for disposal. However, this should be carefully evaluated by assessing the availability of these residues in the various regions of the state, as well as by studying the technical characteristics for their utilization as combustible. This paper presents the results obtained from laboratory tests of residue samples collected in wood companies in Pará, to obtain initial information on the characteristics of residues for energy purposes.

Key words: Biomass, energy generation, thermal-physical characteristics, and wood industry.

¹ Trabalho convidado.

² M.S., Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Pará – DEEC/UFPA, Rua Augusto Correa, nº 1, 66075-900 Belém-PA, <giorgiana.pinheiro@redecelpa.com.br>; ³ M.S., Prof. do Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/UFPA, <rendeiro@ufpa.br>; ⁴ D.S., Prof. do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação – DEEC/UFPA, <jtpinho@ufpa.br>.

1 INTRODUÇÃO

A atividade madeireira está concentrada em 24 pólos no Estado do Pará. Em 1998, esses pólos abrigavam 676 empresas, representadas por 602 serrarias, 43 laminadoras e 31 fábricas de compensados (Veríssimo et al., 2002).

No Quadro 1 estão os dados relativos ao consumo de madeira e à quantidade de madeira processada nos 24 pólos madeireiros pertencentes a cinco zonas (central, estuarina, leste, oeste e sul), agrupadas de acordo com as tipologias florestais, a idade do setor madeireiro, as condições de acesso e o tipo de transporte (Veríssimo et al., 2002). Nesse quadro assumiu-se a produção de madeira serrada de 36 %, enquanto para os laminados e compensados em torno de 40% (Gerwing, 1997). No caso da madeira beneficiada, assumiu-se que 50% foram oriundos de reaproveitamento, enquanto o restante (50%) teve um rendimento médio de 36%, equivalente à madeira serrada (Veríssimo et al., 2002).

Do Quadro 1 pode-se estimar uma quantidade de resíduos gerados pela indústria madeireira de 7,025 milhões de metros cúbicos, em 1998.

Esses dados indicam o potencial de aproveitamento desses resíduos como combustível para geração de energia no Estado do Pará, especialmente em plantas que operam com ciclo a vapor (caldeiras e gerador a vapor), cuja tecnologia é bastante difundida comercialmente. Outro aspecto favorável é a possibilidade de descarte dos resíduos, que representa um problema de difícil solução para diversas empresas, uma vez que deve ser realizado conforme a legislação ambiental, não sendo permitida a incineração com emissão de poluentes fora dos padrões legais.

Quanto às características técnicas para utilização como combustível, tem-se que os

resíduos lignocelulósicos (como os resíduos gerados pela indústria madeireira) geralmente apresentam baixa densidade, elevado teor de umidade e são dispersos geograficamente, encarecendo a coleta e o transporte e dificultando o aproveitamento energético; também apresentam, na maioria das vezes, uma grande diversidade de formas e granulometria variada. Portanto, uma característica bastante comum dos resíduos é a heterogeneidade (Quirino, 2000). Pode ser citado também que as propriedades físicas mais importantes da biomassa sólida são o teor de umidade e a densidade energética, entendendo-se por densidade energética a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível (Quirino, 2000). A baixa densidade energética de biomassa sólida, em comparação com outros combustíveis como o petróleo e o carvão mineral, origina custos elevados de transporte e armazenamento (Staiss & Pereira, 2001). O teor de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa; por exemplo, o poder calorífico da madeira duplica se for reduzido o teor em água da madeira de 50% (madeira em pé) para 20% (madeira depois de 2 anos de secagem ao ar) (Staiss & Pereira, 2001).

Dessa forma, o aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria madeireira para fins energéticos deve ser avaliado cuidadosamente, pois, além dos aspectos logísticos de localização, transporte e quantitativo gerado, características como a grande heterogeneidade e, dependendo do local de armazenagem, em muitos casos, a alta umidade podem inviabilizar sua utilização. Este estudo enfoca a caracterização dos resíduos e tem por objetivos apresentar os resultados de ensaios de laboratório realizados em amostras de serragem coletadas em empresas madeireiras do município de Santarém, Estado do Pará, e discutir de maneira preliminar suas características para fins energéticos.

Quadro 1 – Consumo de madeira em tora e produção no Pará (Veríssimo et al., 1998)

Table 1 – Consumption of log wood and production in Pará (Veríssimo et al., 1998)

Pólo Madeireiro	Consumo em Tora ⁽¹⁾ (em milhares de m ³)	Porcentual do Consumo Estadual (%)	Produção Processada (em milhares de m ³)
Zona Central	790	7	309
Altamira	250	2	99
Santarém	430	4	170
Uruará	110	1	40
Zona Estuarina	1.330	12	495
Afuá	130	1	47
Breves	510	5	192
Cametá	170	1,5	61
Oeiras	120	1	43
Portel	180	1,5	69
Porto de Moz	220	2	83
Zona Leste	7.340	65	2.764
Breu-branco	700	6	265
Capitão Poço	180	1,5	66
Dom Eliseu	570	5	223
Goianésia	450	4	168
Jacundá	750	7	294
Novo Repartimento	110	1	41
Paragominas	2.300	20	852
Rondon	630	5,5	247
Tailândia	900	8	332
Tomé Açu	750	7	276
Zona Oeste	630	6	235
Itaituba	330	3	125
Novo Progresso	300	3	110
Zona Sul	1.190	10	452
Itupiranga	180	1	66
Novo Progresso	360	3	142
Estado do Pará	11.280	100	4.255

⁽¹⁾ Volume geométrico.

2 METODOLOGIA

2.1 Normatização

As características técnicas mais importantes da biomassa como fonte de energia são: composição química (elementar e imediata), umidade e poder calorífico (Nogueira & Lora, 2003).

Neste trabalho foram realizados ensaios para determinação da composição química imediata (teor de voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas), da umidade e do poder calorífico de amostras de serragem, tendo sido adotadas como referência para elaboração dos procedimentos de laboratório as seguintes normas brasileiras existentes para carvão vegetal:

- NBR 6923 – Carvão Vegetal - Amostragem e Preparação da Amostra, que define os procedimentos de coleta e preparação de amostras para realização de ensaios de caracterização de carvão vegetal;
- NBR 8112 – Carvão Vegetal – Análise Imediata, destinada à determinação dos teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo de carvão vegetal; e
- NBR 8633 – Determinação do Poder Calorífico, prescreve o método de determinação do poder calorífico superior do carvão vegetal a volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática.

2.2 Amostragem

Foram coletados resíduos de madeira (serragem) em três empresas madeireiras pertencentes ao pólo madeireiro do município de Santarém, localizado na região do Estado do Pará, conhecida como baixo Amazonas.

As amostras foram coletadas nos locais onde estavam depositadas, e elas apresentavam a seguinte composição:

- Amostragem 1 (Empresa 1): Mistura de maçaranduba e garapa.

- Amostragem 2 (Empresa 2): Mistura de diversos tipos de espécies.
- Amostragem 3 (Empresa 3): Maçaranduba e mistura de maçaranduba e itaúba.

A amostragem foi realizada com o objetivo de coletar resíduos no estado em que se encontram armazenados nas empresas e poderiam vir a ser disponibilizados; por este motivo, são na maioria originados da mistura de duas ou mais espécies.

Durante a coleta das amostras foram levantadas também informações relativas à produção das empresas, como espécies de madeira serrada, índice de aproveitamento, forma de armazenamento, entre outras.

Nas empresas onde foram realizadas as amostragens 1 e 3 observou-se que a serragem encontrava-se depositada nos galpões das máquinas, ou sobre o terreno das mesmas, a céu aberto.

Na empresa onde foi realizada a amostragem 2, os resíduos estavam depositados em terreno adjacente ao galpão de máquinas, a céu aberto (Figura 1). Nessa empresa, constatou-se que atualmente não há destino definido para os resíduos gerados pelo processamento da madeira.



(a)



(b)

Figura 1 – Local de coleta da amostragem 2, em que (a) galpão de máquinas e (b) pátio da madeireira.
Figure 1 – Sampling collection site 2 (a) machinery warehouse and (b) company courtyard.

2.3 Campanha de ensaios

Constituiu na realização dos ensaios de umidade, poder calorífico, teor de voláteis e teor de cinzas, executados conforme os procedimentos elaborados a partir das normas brasileiras relacionadas no item 2.1.

Em cada empresa foram coletadas dez amostras, tendo sido realizadas para cada amostra coletada cinco determinações de cada parâmetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 2 e 3 está o resumo dos resultados de análise química imediata, poder calorífico superior e densidade real obtidos na bibliografia pesquisada, em comparação com os dados obtidos em alguns dos ensaios realizados no desenvolvimento deste trabalho

(tomadas como representativas), e que podem ser visualizados nas Figuras 2 e 3.

Dos resultados obtidos nos ensaios observou-se que:

1. no geral, houve pouca dispersão nos valores dos parâmetros obtidos nas determinações individuais por amostra, como pode ser observado na Figura 4, onde são apresentados os resultados de poder calorífico superior para a amostragem 3;
2. a média dos valores obtidos para as cinco determinações realizadas para cada parâmetro das dez amostras coletadas em um mesmo local apresentou comportamento similar entre si, conforme pode ser observado na Figura 5, onde são apresentados os resultados das médias aritméticas de análise química imediata para a amostragem 3 (maçaranduba);

Quadro 2 – Resultados de teor de voláteis, de cinzas e de carbono fixo

Table 2 – Volatile matter, ash and fixed carbon results

Ensaio	Pinus 1	Pinus 2	Pinus 3	Pinheiro	Eucalipto	Maçaranduba + Garapa (Amostragem 1)	Maçaranduba (Amostragem 3)	Diversas Espécies (Amostragem 2)
Teor de voláteis (%)	82,54 (a)	86,4 (a)	86,48 (a)	82,54 (c)	81,42 (c)	82,12 (j)	85,13 (j)	81,68 (j)
Teor de Carbono Fixo (%)	17,13 (a)	13,5 (a)	12,93 (a)	17,7 (c)	17,82 (c)	16,92 (j)	14,34 (j)	18,12 (j)
Teor de Cinzas (%)	0,34 (a)	0,1 (a)	0,59 (a)	0,29 (c)	0,79 (c)	0,94 (j)	0,518 (j)	0,199 (j)

(a) Wander (2001), (b) Mendes et al. (1999), (c) Jenkins (1990), (d) Vale et al. (2000), (e) Jankowsky et al. (1990), (f) Pereira et al. (1997), (g) Araújo et al. (2000), (h) Pereira et al. (2000), (i) Dados obtidos no presente trabalho e (j) Ref <www.netbureau.com.br>.

Quadro 3 – Valores de poder calorífico superior e densidade real

Table 3 – Gross heating and real density values

Ensaio	Pinus 1	Pinus 2	Pinus 3	Pinheiro	Eucalipto	Eucalipto (<i>Dunnii</i>)	Nim Indiano	Grevílea	Maçaranduba + Garapa (Amostragem 1)	Maçaranduba (Amostragem 3)	Diversas Espécies (Amostragem 2)
PCS (cal g ⁻¹)	5.015,03 (a)	4.873,19 (a)	4.799,88 (a)	4.777,83 (c)	4.907 (d)	4.907 (f)	4.088,5 (g)	4.528 (h)	4.623,2 (i)	4.898,4 (i)	4.830,5 (i)
Densidade (g cm ⁻³)	0,446 (b)	0,446 (b)	0,446 (b)	0,48 (e)	0,563 (f)	0,563 (f)	0,57 (g)	0,515 (h)	0,88 - 1,1 (j)	1,1 (j)	-

(a) Wander (2001), (b) Mendes et al. (1999), (c) Jenkins (1990), (d) Vale et al. (2000), (e) Jankowsky et al. (1990), (f) Pereira et al. (1997), (g) Araújo et al. (2000), (h) Pereira et al. (2000), (i) Dados obtidos no presente trabalho e (j) Ref <www.netbureau.com.br>.

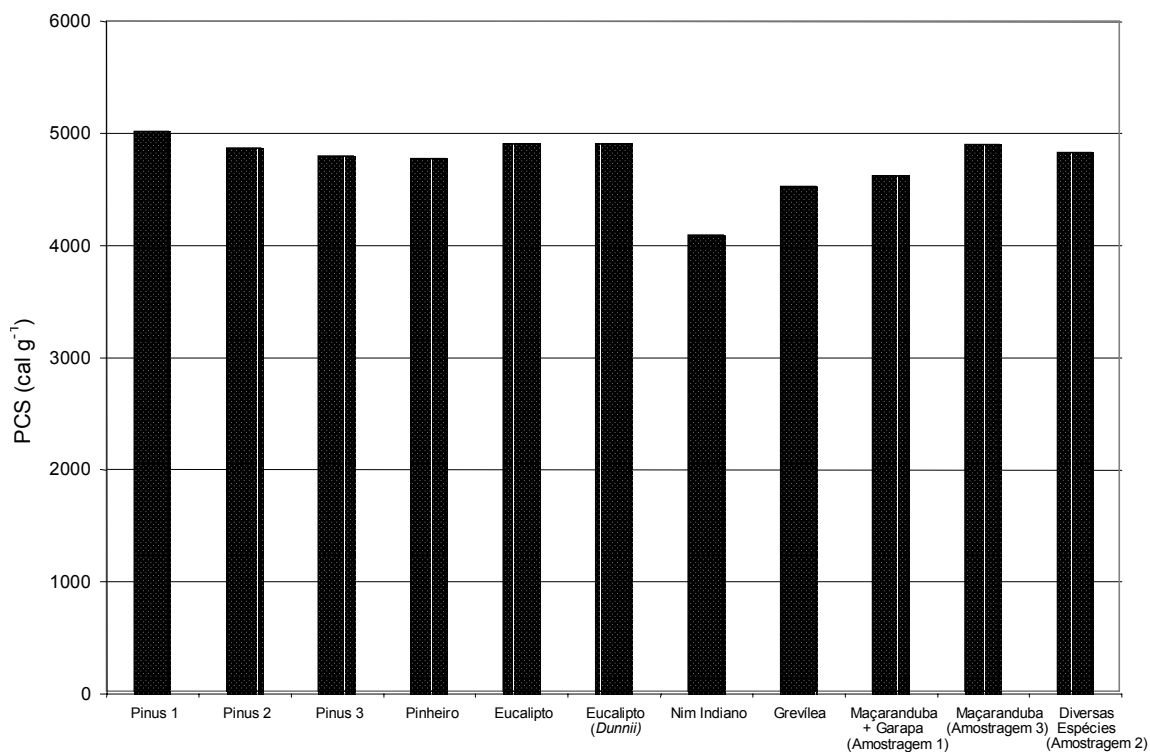


Figura 2 - Resultados de poder calorífico superior.
Figure 2 - Gross heating value.

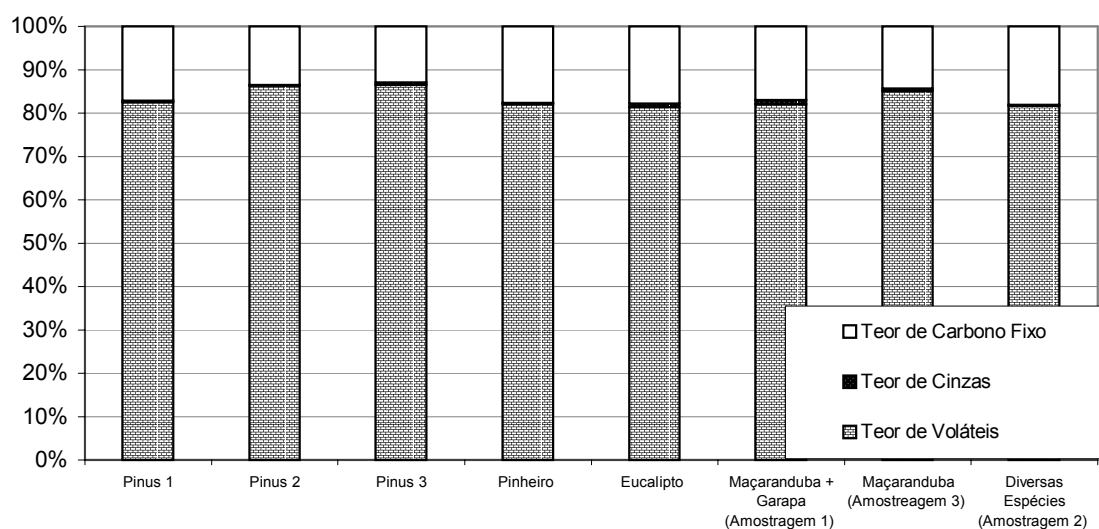


Figura 3 - Resultados de teor de voláteis, de cinzas e de carbono fixo.
Figure 3 - Volatile matter, ash and fixed carbon results.

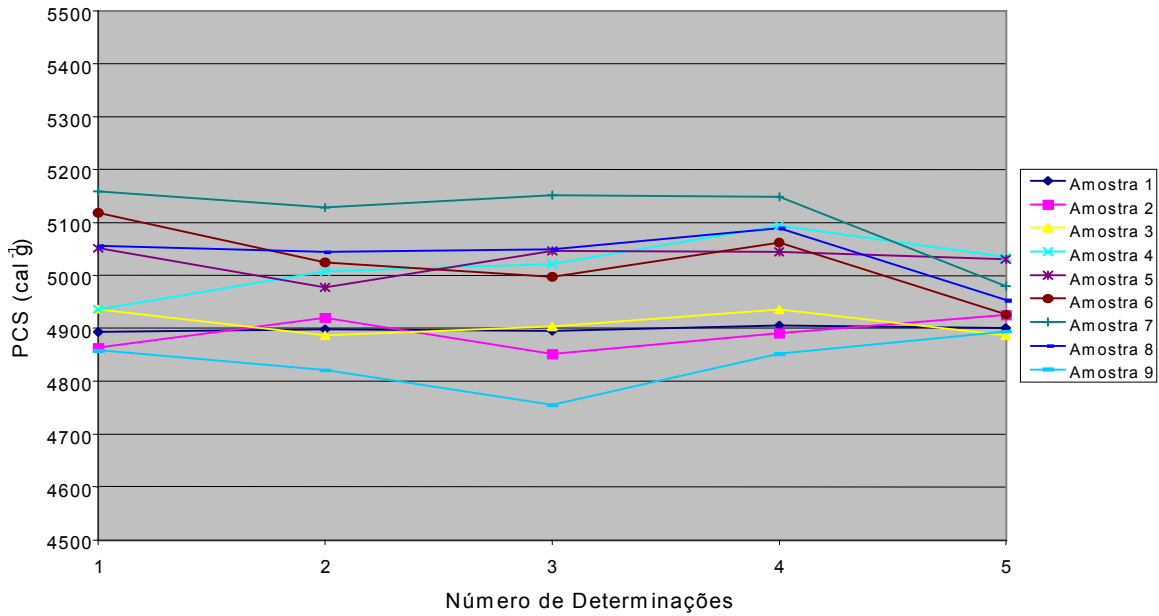


Figura 4 – Resultados de poder calorífico superior para os ensaios da amostragem 3 (maçaranduba).
Figure 4 – Gross heating value of sampling 3 (maçaranduba).

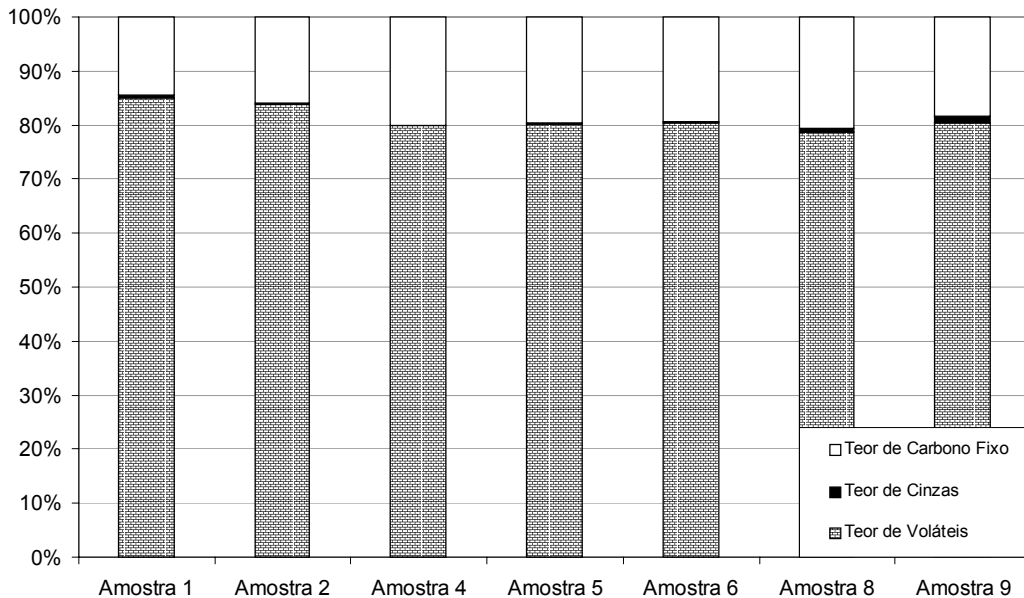


Figura 5 – Resultados de teor de voláteis, de cinzas e de carbono fixo para amostragem 3 (maçaranduba).
Figure 5 – Volatile matter, ash and fixed carbon analysis results for sampling 3 (maçaranduba).

3. os resultados obtidos para as amostras coletadas nos três locais apresentaram valores similares entre si, conforme as seguintes faixas:

- Teor de voláteis – entre 75 e 85%.
- Teor de Cinzas – entre 0 e 5%.
- Teor de carbono fixo – entre 15 e 25%.
- Poder calorífico superior – entre 4.000 e 5.000 cal g⁻¹.

Esse comportamento é compatível com os valores encontrados na bibliografia para biomassa originada de resíduos sólidos, conforme reproduzido a seguir:

“Em geral, os voláteis representam mais de 70% da biomassa seca, o carbono fixo está em torno de 20% e a cinza raramente ultrapassa 2%. Seu poder calorífico superior é da ordem de 4776 cal g⁻¹.”

(Wander, 2001).

“O calor oferecido pela combustão da madeira vai variar de acordo com os seus constituintes; entretanto, girará em torno de 4.700 a 5.000 kcal kg⁻¹ da madeira seca a 0% de

umidade, independente de sua espécie. Os resíduos lignocelulósicos apresentam poder calorífico superior - PCS semelhante à madeira, variando em função da contaminação do resíduo”

(Quirino, 2000).

“Para igual percentagem de umidade, os poderes caloríficos dos diferentes biocombustíveis sólidos não se distinguem entre si significativamente. Os poderes caloríficos livre de água oscilam entre 4.035 cal g⁻¹ (feno) e 4.465,5 cal g⁻¹ (madeira de conífera)”

(Staiss & Pereira, 2001);

4. a densidade real das espécies de madeira contidas na serragem não influenciou os valores de poder calorífico superior, conforme observa-se no Quadro 2; e
5. a umidade das amostras influenciou consideravelmente os valores obtidos para o poder calorífico inferior, conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 7, obtidas a partir dos resultados dos ensaios realizados nos resíduos da amostragem 1 (maçaranduba + garapa).

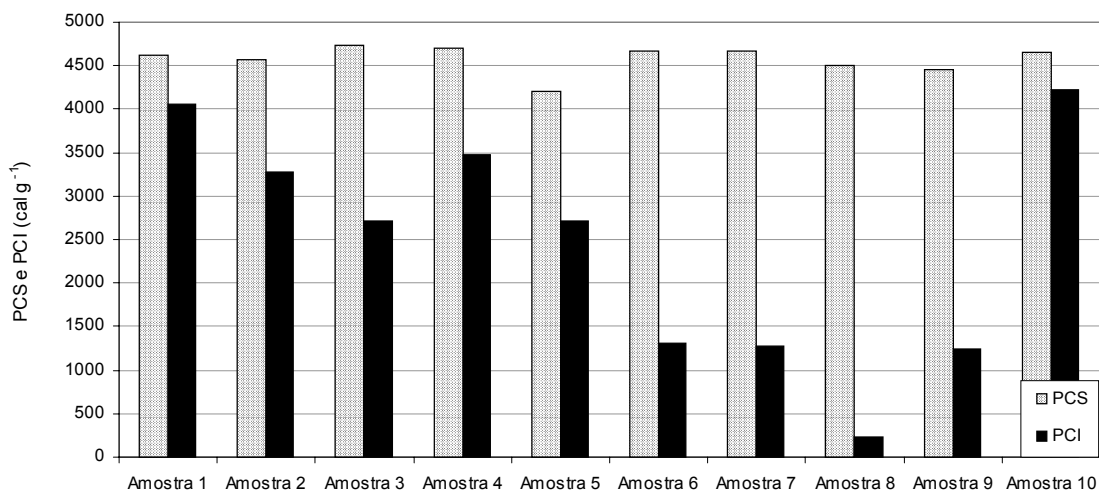


Figura 6 – Resultados de poder calorífico superior e poder calorífico inferior para os ensaios da amostragem 1 (maçaranduba + garapa).

Figure 6 – Gross heating and net heating values for sampling 1 (maçaranduba + garapa).

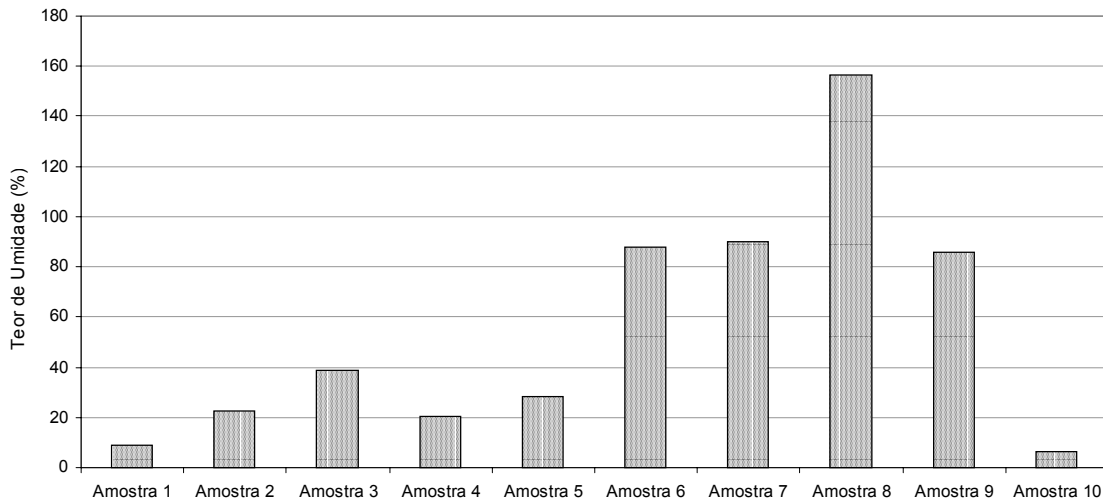


Figura 7 – Resultados de teor de umidade para os ensaios da amostragem 1 (maçaranduba + garapa).
Figure 7 – Moisture content results for sampling 1 (maçaranduba + garapa).

Obs.: Os valores de poder calorífico inferior foram obtidos através da equação 1, sugerida por Quirino (2000) para madeira seca, com poder calorífico superior de aproximadamente 4.800 kcal kg⁻¹:

$$PCI = [(PCS - 25,11 \times H)] / (100 + H) \times 100 \quad [1]$$

em que PCI = poder calorífico inferior; PCS = poder calorífico superior; e H = umidade base seca.

4 CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios realizados confirmam que os resíduos estudados (serragem) apresentam as características típicas de resíduos sólidos quanto à composição química imediata (voláteis, cinzas e carbono fixo) e ao poder calorífico superior. A espécie da árvore que originou o resíduo não influenciou os resultados obtidos para as referidas características.

A umidade das amostras influenciou os resultados, reduzindo significativamente os valores de poder calorífico inferior, ou seja, o

calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis.

Sendo assim, para determinação da densidade energética e avaliação do potencial de geração de energia a partir de rejeitos do setor madeireiro, devem ser levadas em conta principalmente a densidade a granel (aparente) dos rejeitos e a umidade em que eles serão disponibilizados, estando estas características diretamente relacionadas com o processamento da madeira e as condições de armazenamento dos resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L. V. C. et al. Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano. *Scientia Forestalis*, n. 57. p. 153-159, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6923. Carvão vegetal amostragem e preparação da amostra, Out/1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8112 Carvão vegetal – análise imediata, Out/1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 8633 Carvão vegetal – determinação do poder calorífico, Out/1984.

GERWING, J. et al. **Rendimento no processamento de madeira no estado do Pará**. Belém: IMAZON, 2001. 37 p.

MENDES, L. M. et al. Variação da densidade da madeira de *Pinnus oocarpa* Schiede ex Schltdl. no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 1999 (Nota Técnica)

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

PEREIRA, J. C. D. et al. Caracterização dos resíduos da madeira de *Eucalyptus dunnii* como fonte de energia. Colombo - PR, EMBRAPA Florestas, 1997. p. 1-3.

PEREIRA, J. C. D. et al. Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta*. Colombo - PR, EMBRAPA Florestas, 2000. 10 p. (Circular Técnica, 40)

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do Curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”, 2000.

STAISS, C.; PEREIRA, H. Biomassa energia renovável na agricultura e no sector florestal. **AGROS**, n.1. p. 21 - 30, 2001.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Acacia magium* Willd. em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VERÍSSIMO, A. et al. **Pólos madeireiros do Estado do Pará**. Belém: IMAZON, 2002. 72 p.

WANDER, P. R. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do rio Grande do Sul**. 2001, 106 f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.