



# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

## Análise energética de resíduos da madeira de Cedrela odorata.

Maria Beatriz dos Santos Cruz<sup>1</sup>

Barbára Furtado<sup>2</sup>

José Brito<sup>3</sup>

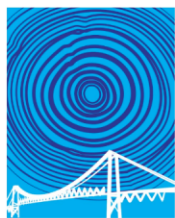
VICTOR HUGO PEREIRA MOUTINHO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Tecnologia da Madeira / IBEF - Instituto de Biodiversidade e Florestas / UFOPA - UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ

<sup>2</sup> Fibria

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo

<sup>4</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará



## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### ANÁLISE ENERGÉTICA DE RESÍDUOS DA MADEIRA DE *Cedrela odorata*

**Resumo:** A madeira quando está submetida a altas temperaturas, a mesma sofre um processo de transformação resultando no carvão. Há um grande desperdício de matéria-prima na Amazônia, que se inicia desde a sua colheita na floresta em áreas de manejo. Ao levarmos em consideração que a espécie *Cedrela odorata* é bastante comercializada na nossa região, também existe a problemática dos seus resíduos deixados *in loco* na floresta, sem nenhuma destinação. Por este motivo o objetivo deste trabalho é realizar a análise energética de resíduos de *Cedrela odorata* a fim de mostrar uma melhor finalidade para os resíduos dessa espécie na região. Para o processo de carbonização, a mufla foi programada em uma taxa de 0,33°C/min e a sua temperatura final de 450°C. Também foi determinado a densidade aparente do carvão. Para a análise imediata, foi utilizada a norma ASTM D 1762 - 84. Os resultados foram de 0,54 g/cm<sup>3</sup> para a densidade da madeira de *Cedrela odorata* e 0,38 g/cm<sup>3</sup> para a densidade aparente do carvão. Para o rendimento do carvão, a espécie obteve o valor de 38,67%. Para materiais voláteis, cinzas e carbono fixo os valores foram de 23,71%; 0,90% e 75,39%, respectivamente. Concluímos que a espécie estudada *Cedrela odorata* conhecida popularmente como Cedro apresentou valor de densidade básica maior do que o apresentado em literatura e das espécies de *Eucalyptus*., apresentou valores satisfatórios para densidade aparente do carvão, rendimento gravimétrico e teores de carbono fixo e cinzas, preconizando assim estudo para seu uso no setor energético.

**Palavras-chave:** Carvão, Amazônia, Análise imediata, Carbonização, Densidade.

### ENERGETIC ANALYSIS OF *Cedrela odorata* WOOD LEFTOVERS.

**Abstract:** The wood when it's submitted the high temperatures, the same suffer a process of the transformation resulting in the charcoal. There is a big waste of feedstock in the Amazon, what starts since your harvest in the forest in areas of management. To consider that the species *Cedrela odorata* is very commercialized in our region, there is also the problem of its residues left in loco in the forest, without any destination. For this reason the objective of this work is to perform the energy analysis of residues of *Cedrela odorata* in order to show a better purpose for the residues of this species in the region. For the carbonization process, the muffle was programmed at a rate of 0.33 ° C / min and its final temperature was 450 ° C. The apparent density of the coal was also determined. For the immediate analysis, the ASTM D 1762-84 standard was used. The results were 0.54 g / cm<sup>3</sup> for the *Cedrela odorata* wood density and 0.38 g / cm<sup>3</sup> for the apparent density of the charcoal. For the charcoal yield, the species obtained the value of 38.67%. For volatile materials, ash and fixed carbon the values were 23.71%; 0.90% and 75.39%, respectively. It was concluded that the *Cedrela odorata* species, known as Cedro, had a higher basic density value than that reported in the literature and the *Eucalyptus* species, presented satisfactory values for apparent charcoal density, gravimetric yield and fixed carbon and ash contents, recommending so study for your use in the energy sector

**Keywords:** Charcoal, Amazon, Immediate analysis, carbonization, Density.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo, sua estrutura é composta por celulose, hemicelulose e lignina, na qual constituem a parede celular da mesma, os demais

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

compostos que estão presentes na madeira são de menor quantidade, de menor peso molecular, e são chamados de extrativos, geralmente são formadas por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, graxas e corantes (PHILIPP,1988; SANTOS, 2008).

Quando a madeira é submetida a altas temperaturas, a mesma sofre um processo de transformação na qual seus componentes são modificados, que consiste em concentrar o carbono e retirar o oxigênio, havendo o aumento energético do produto final, o carvão. (SANTOS,2008; TRUGILHO e SILVA,2001; GOMES e OLIVEIRA,1980). Para Galdino et al. (2010) e explanado por Silva et al. (2015) o carvão vegetal é oriundo de um material negro, poroso, contendo 85 a 95% de carbono e pode ser obtido pela destilação destrutiva da madeira a temperaturas que variam de 500 a 600 °C em ausência de oxigênio.

Através de técnicas e o uso na qual ele vai ser destinado, pode-se obter carvões muito diferentes, a citar: carvão para uso doméstico, carvão metalúrgico, carvão para gasogênio, carvão ativo, carvão para indústria química e carvão para indústria de cimento. (BRITO E BARRICHELO, 1981). Segundo Moutinho et al. (2014), a produção brasileira de carvão vegetal tem como principal destino o setor industrial, destacando entre eles as siderúrgicas, além do consumo feito nas residências.

Brito e Barrichelo (1981) comenta que se tratando de madeira amazônica, há uma grande diversidade de espécies arbóreas e logicamente é de se esperar uma grande variação com relação às propriedades químicas e físicas de suas madeiras, e isto reflete também no rendimento e propriedades energéticas, mas existe uma grande dificuldade em se obter informações acerca das propriedades de suas madeiras na Região Amazônica para a produção de carvão vegetal, existindo poucos estudos sobre esse assunto.

Lentini (2003) explana que os resíduos oriundos da Floresta Amazônica, cerca de 45% dos resíduos produzidos nas indústrias madeireiras são queimadas, 6% são abandonadas, 24% são utilizados para produzir carvão e o restante são utilizados em fornos de olarias (5%), utilizados para geração de energia elétrica (5%) e para outros usos diversos (15%). Mas, vale ressaltar que o desperdício desta matéria prima se inicia desde a sua colheita na floresta em áreas de manejo, devido ao volume das copas de árvores, muitas delas permanecem no local de abate (BARBOSA et al., 2015; LOUREIRO, 1979).

Ao levarmos em consideração que a espécie *Cedrela odorata* é bastante comercializada na nossa região, também existe a problemática dos seus resíduos permanecerem *in loco* na floresta, sem nenhuma destinação, sendo que com estudos podem se tornar viáveis para o setor energético na nossa região.

Por este motivo, o presente estudo tem como objetivo realizar a análise energética de resíduos de *Cedrela odorata* a fim de mostrar uma melhor finalidade para os resíduos dessa espécie na região.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A espécie foi coletada na Floresta Nacional do Tapajós localizada próximo a cidade de Santarém no estado do Pará, sendo obtido amostras do topo da base deixado após a colheita florestal. Trabalhou-se, no total com três árvores de cedro, as quais foram identificadas por *Cedrela odorata* no decorrer do inventário florestal onde a respectiva identificação foi ratificada por especialistas do Laboratório de Tecnologia da Madeira - LTM da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, por meio de sua madeira. Desta forma, todas as análises ocorreram em triplicata onde cada indivíduo foi considerado como repetição.

Para a realização da densidade básica as amostras foram colocadas em um recipiente com água onde ficaram submersas até estabilização de sua massa. Posteriormente, obteve-se o valor de massa de cada amostra por meio de balança hidrostática, obtendo assim a

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





# III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

massa imersa e a massa úmida de cada amostra. Deste modo, pode-se calcular o volume destas com a diferença entre a massa úmida e a massa imersa das amostras (Vital, 1984).

Após estas etapas as amostras foram colocadas em estufa até estabilização de massa, sob uma temperatura de 100°C, para posterior obtenção de massa. Por fim, com o volume e a massa seca foi possível calcular a densidade básica da madeira, pela razão entre massa seca e volume.

Em seguida, com os resultados da densidade básica, se iniciou o processo de carbonização da madeira de *Cedrela odorata*, a qual ocorreu de forma separada por indivíduo. Para o processo de carbonização, a mufla foi programada em uma taxa de 0,33°C/min e a sua temperatura final de 450°C, contando com o patamar de espera de 60 minutos. Após este processo de carbonização, o material foi retirado da mufla e assim, podendo obter a sua massa através da balança semi-analítica, que forneceu o valor da massa do carvão. Também foi determinado a densidade aparente do carvão através da metodologia proposta por Oliveira et al. (1982).

Além da massa da madeira e do carvão, obteve-se também a massa do licor pirolenhoso que foram obtidas da seguinte forma: o recipiente coletor de pirolenhoso foi pesado antes da carbonização, para que no final desta, fosse possível calcular o valor das massas do líquido contido no recipiente, através da diferença entre a massa final (recipiente + licor) e a inicial (recipiente). Ao final deste, pode-se calcular o rendimento do carvão, do licor e dos gases condensáveis e não condensáveis de *Cedrela odorata*.

Além disto, foi realizado a análise imediata da espécie através da norma ASTM D 1762 - 84 - (1990). Para a determinação de teor de voláteis, as amostras foram acondicionadas em cadinhos de porcelana com tampas e levadas a mufla em uma temperatura de 950 °C, quando atingiu 940 °C foi contado o tempo de 6 minutos para a sua retirada da mufla, após isso os cadinhos foram colocados em um dessecador com sílica para resfriar por 30 minutos, em seguida as foram obtidas as massas das amostras em balança analítica, determinando-se o valor de materiais voláteis. Já para a determinação do teor de cinzas, foram utilizadas as mesmas amostras após a retirada de materiais voláteis e foram colocados dentro da mufla numa temperatura de 750 °C por 6 horas, após esse período, as amostras foram colocadas em um dessecador com sílica por 30 minutos, obtendo assim a massa do teor de cinzas. O teor de carbono fixo foi obtido através da diferença entre materiais voláteis e teor de cinzas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média da densidade básica da madeira de *Cedrela odorata* ficou próxima a 0,54 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 1), considerada um valor alto quando comparada com os dados de Quirino et al. (2005), onde o autor encontrou valores de 0,38g/cm<sup>3</sup> para a mesma espécie. Outrossim, Neves (2009) explana sobre valores encontrados para clones de *Eucalyptus* com 57 e 69 meses foram de 0,45 e 0,46 g/cm<sup>3</sup>, verificando que, desta forma, a densidade do resíduo trabalhado assume valores maiores que a média de espécies comumente utilizada para a produção de carvão vegetal.

Tabela 1: Densidade aparente do carvão e densidade básica da madeira de *Cedrela odorata*

Nome científico	D. básica da madeira g/m <sup>3</sup>		D. ap do carvão g/m <sup>3</sup>	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)
<i>Cedrela odorata</i>	0,54	8,19	0,38	1,76

C.V: coeficiente de variação

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

A densidade aparente do carvão de *Cedrela odorata* é de  $0,38 \text{ g/m}^3$ , podendo ser comparada com estudos de Moutinho et al. (2016) que realizou estudo energético com 3 espécies amazônicas, sendo que a espécie em estudo *B. arbórea* apresentou valor de densidade aparente de  $0,33 \text{ g/cm}^3$ . Comparando os valores obtidos de densidade aparente de *Cedrela odorata* com os de *Eucalyptus* podemos observar que os valores de densidade deste estudo são maiores que os apresentados por Frederico (2009). Para o rendimento do carvão, a espécie obteve o valor de 38,67% (Tabela 2). Moutinho et al. (2016) apresentaram rendimento gravimétrico do carvão de *B. arbórea* em temperatura semelhante ao deste estudo, com quase 40%, e de Trugilho e Silva (2001) que mostrou rendimento de 42,24% para o alburno da espécie *Hymenea courbaril* L., com temperatura final de  $400^\circ\text{C}$ . Entretanto, Brito e Barrichelo (1977), ao apresentarem valores de rendimento gravimétrico de 10 espécies de *Eucalyptus*, o maior valor de 31,3% da espécie *E. grandis* e o menor de 26,5% da espécie *E. paniculata*, esses valores foram obtidos em carbonização de  $500^\circ\text{C}$ , isto é, demonstram que o rendimento gravimétrico encontrado para o cedro se faz semelhante ou até melhor que o rendimento para eucalipto.

Tabela 2: Rendimento gravimétrico e análise imediata da espécie de Cedro.

Nome comum	Nome científico	Rendimento gravimétrico			Análise Imediata		
		Carvão	G.C	GNC	%MV	%CZ	%CF
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	38,67	39,89	21,44	23,71	0,90	75,39

RGC: rendimento de gases condensáveis; RGNC: rendimento de gases não condensáveis; MV: material volátil; CZ: cinza; CF: carbono fixo.

Protásio et al (2011) explana que o rendimento gravimétrico do carvão vegetal em proporções altas permite o melhor aproveitamento da madeira. Para os gases condensáveis e não condensáveis foi obtido os valores de 39,89% e 21,44%, respectivamente. Bridgwater (2001) enfatiza que os rendimentos obtidos por pirólise lenta que ocorre em temperaturas que variam de  $400$  a  $450^\circ\text{C}$  são de 35% para rendimento gravimétrico do carvão, 30% para gases condensáveis e 35% para gases não condensáveis, sendo assim os rendimentos do resíduo de cedro estão dentro da média apresentados neste estudo.

Para materiais voláteis, cinzas e carbono fixo os valores foram de 23,71%; 0,90% e 75,39%, respectivamente. No estudo de Trugilho e Silva (2001) os valores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do alburno da espécie Jatobá na temperatura de  $400^\circ\text{C}$  foram de 39,52%, 1,21% e 59,27%, respectivamente. Em comparação com os teores de carbono fixo e cinzas, o cedro apresentou melhores resultados que o jatobá, a temperatura pode ter interferido neste processo, já que as duas espécies foram carbonizadas em temperaturas diferentes. Frederico (2009) afirma que as correlações entre teor de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e o poder calorífico podem ser explicadas através da composição química do combustível, pois, o carvão vegetal é expresso diretamente pelo teor de carbono fixo e o baixo teor de cinzas, para este estudo, os teores apresentaram resultados promissores.

Trugilho e Silva (2001) preconiza junto com estudos de Silva e Brito (1989), Valente et al (1985) e Wenzl (1970) que materiais voláteis podem diminuir com o aumento da temperatura final de carbonização independente do material usado e em temperaturas mais elevadas, pequenas quantidades de  $\text{H}_2$  são liberadas pelo carvão, para teor de carbono fixo, a eliminação de materiais voláteis provoca seu aumento natural. Para Brito e Barrichelo (1977) uma madeira rica em lignina pode obter um elevado rendimento gravimétrico e o carvão proveniente da mesma terá alto teor de carbono, valor apresentado pela espécie de 75,39%.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

### 4. CONCLUSÃO

Dessa forma, podemos concluir que a espécie estudada *Cedrela odorata* conhecida popularmente como Cedro apresentou valor de densidade básica maior do que o apresentado em literatura e das espécies de *Eucalyptus*. Também apresentou valores satisfatórios para densidade aparente do carvão, rendimento gravimétrico e teores de carbono fixo e cinzas, preconizando assim estudo para seu uso no setor energético.

### 5. REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. A. G. S.; FERREIRA, V. R. da S.; MOUTINHO, V. H. P. Caracterização química do fuste e galhos da espécie *Piptadenia suaveolens* (Miq.) provenientes da floresta nacional do Tapajós. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Belo Horizonte, MG, 2015.

BRIDGWATER, A. V. Towards the bio-refinery fast pyrolysis of biomass. Renewable Energy World. Jan-Feb, 2001.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia. Vol. 2, No. 5, 1-25 p. IPEF. 1981.

FREDERICO, P. G. U. F. Efeito da Região e da Madeira de Eucalipto nas Propriedades do Carvão Vegetal. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

GALDINO, D.S. et al. Produção de Carvão Vegetal. Trabalho apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Itapeva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2010.

BRITO, J. O. ; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. 1. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. IPEF, Piracicaba, v. 14, n. 1, p. 9-20, 1977.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.) Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: CETEC, p. 27-41.1982

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R.; Fatos Florestais da Amazônia 2005. 1ª ed. Belém, Brasil. Ed. RL/2 Comunicação e Design.142p. 2005.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. da C. Essências madeireiras da Amazônia. Manaus: INPA, 1979.

MOUTINHO, V. H. P.; ROCHA, J. J. M da; AMARAL, E. P. do; SANTANA, L. G. de M.; AGUIAR, O. J. R de. Propriedades Químicas e Energéticas de Madeiras Amazônicas do Segundo Ciclo de Corte. Floram – Floresta e Ambiente, local, volume, número, página, 2016.

NEVES, T. A. Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Clones de *Eucalyptus* Cultivados no Sul de Minas Gerais. 2012. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





## III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência  
e Tecnologia da Madeira  
Florianópolis - 2017

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, p. 9-38. 1982.

PHILIPP,; D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e Papel. Volume I. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Centro Técnico em celulose e papel. São Paulo, 1988, Segunda edição.

PROTÁSIO, T. P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011.

QUIRINO, W. F, PINHA, I.V.O, MOREIRA, A. C. O, SOUZA, F. M. T. F. Densitometria de raio X na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. Scientia Forestalis. 40(96): 525-536p. 2012.

QUIRINO, W. F., VALE, A. T., ANDRADE, A. P. A., ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, 89, n 100, p. 106. 2005.

SANTOS, I. D. Influência dos teores de lignina, holocelulose, extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade de carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. 2008. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SILVA, D. A.; BRITO, J. O. Qualidade do carvão vegetal oriundo de madeiras amazônicas - Balbina. Acta Amazônica, Manaus, v.19(único), p. 525-530, 1989.

SILVA, P. M. F. da; TEOTONIO, V. C. H.; SOUSA, C. E. D. de. Eficiência energética do carbonizados metálico semi-contínuo. Revista Ambiental, v.1, n.1, p.71 – 81, Jan-Mar, 2015.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.) Scientia Agraria, Piracicaba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

VALENTE, O. F.; ALMEIDA, J. M.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da temperatura de carbonização nos rendimentos e propriedades do carvão vegetal produzido. Revista Árvore, Viçosa, v.9, n.1, p. 28-39, 1985.

VITAL, B.R. Métodos de determinação de densidade da madeira. Boletim técnico nº 1.Viçosa: SIF, 21p. 1984.

WENZL, H. F. J. The chemical technology of wood. New York: Academic Press, 1970. 692 p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

