



## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA SERRAGEM DE EUCALIPTO

<sup>1</sup>Renan T. Meirelles Brasil (renanmeirelles94@gmail.com), <sup>1</sup>Ariane A. F. Pires (arianepires9003@hotmail.com), <sup>1</sup>Fabio M. Yamaji (fmyamaji@ufscar.br), <sup>1</sup>Walbert Chrisostomo (w.chrisostomo@usp.br), <sup>1</sup>Mariana Provedel (mareprovedel@hotmail.com)

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba

Departamento de ciencias ambientais – Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, Sorocaba, SP

**RESUMO:** A utilização de biomassa para gerar energia renovável é uma realidade crescente no cenário mundial, porem os resíduos provenientes desta biomassa são pouco aproveitados. O trabalho tem como objetivo analisar quimicamente estes resíduos para compreender seu comportamento na combustão, e, a partir destes dados identificar as melhores condições de aproveitamento dos resíduos para a aplicação destes em biocombustível solido. O material utilizado foi a serragem de eucalipto (15 anos de idade) coletado em uma serraria na região de Itapetininga-SP. A serragem foi preparada para poder receber análises químicas, foram realizados procedimentos de remoção de extrativos, análise de lignina Klason insolúvel, lignina solúvel, alfacelulose, bem como a holocelulose, o teor de cinzas e o teor de voláteis. Ao final do estudo, o material analisado apresentou um bom aproveitamento energético, como o esperado. Sendo valida a sua utilização para a produção de biocombustível solido.

**Palavras Chave:** extração, serragem, caracterização, eucalipto.

## CHEMICAL CHARACTERIZATION OF EUCALYPTUS SAWDUST

**ABSTRACT:** The use of biomass to generate renewable energy is a growing reality in the global scene, however this biomass is wasted from underutilized. The work aims to chemically analyze these wastes to understand their behavior in the combustion, and from these data to identify the best conditions for recovery of waste for applying these in solid biofuel. The material used was sawdust (15 years old) collected at a sawmill in the region of Itapetininga - SP. The sawdust was prepared to receive chemical analysis, procedures were performed removing extractives, Klason lignin insoluble, soluble lignin, alfacelulose and the holocellulose, the ash content and the volatile content. At the end of the study, the analyzed material showed a good energetic utilization, as expected. This work validate its use for the production of solid biofuel.

**Keywords:** extraction, sawdust, characterization, eucalyptus.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia e o meio ambiente são hoje, problemas que não existiam a menos de um século atrás, isto devido a fatores como: o aumento populacional que está mais de dezesseis vezes maior, a média de consumo anual de cada pessoa devido ao estilo de vida, micro e macro mudanças nos ambientes da terra devido a exploração sem controle, entre outros. É necessário uma mudança nos padrões de obtenção de energia, mudança esta que deve ser feita em duas vias: melhorar a eficiência das tecnologias e substituir combustíveis fósseis por materiais renováveis.

Logo, fontes alternativas de energia se tornaram, recentemente, muito importantes no âmbito global, mas não apenas buscando uma opção a mais, e sim buscando por uma solução definitiva quando se fala em energia. Para tanto, uma das energias mais indicadas é a bioenergia, uma energia que é renovável e possui um balanço de poluentes nulo, ou seja, não aumenta a poluição, além de possuir um amplo campo de crescimento, uma vez que não possui muita exploração. Dentro deste contexto a biomassa é um ponto chave, e um dos desafios é encontrar uma forma eficiente da utilização desta biomassa.

Esta necessidade está fomentando cada vez mais a pesquisa e desenvolvimento no setor da biomassa, que pode ser transformada em combustíveis líquidos, sólidos e até mesmo gasosos, trazendo benefícios em qualidade de energia, qualidade de vida, preservação e manutenção do meio ambiente.

Porem para que este empenho seja valido é preciso a participação global, uma vez que é conhecido que os países em desenvolvimento utilizam, atualmente, aproximadamente quatro vezes mais biomassa do que os países desenvolvidos. Já no cenário nacional temos um bom incentivo para a biomassa, pois o seu uso no Brasil é maior do que a média entre os países que estão desenvolvendo.

Este trabalho visa a caracterização dos componentes, estudando-o quimicamente para traçar um perfil do seu comportamento durante a combustão, buscando aprimorar o aproveitamento térmico da biomassa de resíduos lignocelulosicos, sendo ele, a serragem de eucalipto.

A madeira é um material muito heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células e composições de funções muito específicas. Mas o que mais dificulta a utilização destes resíduos são as condições em que são apresentados, como: baixa densidade, alta umidade, formatos e tamanhos indesejados. Logo, para aumentar a eficiência, facilitar o transporte e permitir o estudo, o material deve ser submetido a alguns processos industriais para a sua utilização.

Compactar o material na forma de pellets e briquetes costuma ser a alternativa mais eficiente para resolver estes problemas, mas para a realização deste estudo o tratamento necessário é a moagem do material e posterior secagem completa do material já moído, obtendo uma umidade nula.

Os dados a serem analisados por este estudo são: extrativos solúveis em água quente, extrativos solúveis em ciclohexano/etanol, lignina Klason insolúvel, alfacelulose, hemicelulose, holocelulose, teor de cinzas e teor de umidade.

Extrativos são compostos com baixa e média massa molecular que não fazem parte da estrutura da parede celular, a sua quantidade pode variar de acordo com o tipo de madeira. Podem gerar problemas no maquinário ou mesmo no meio ambiente se não forem removidos antes do uso do material, e como os extrativos representam uma gama muito grande de moléculas nenhum solvente sozinho é capaz de remover todas as substâncias.

Lignina é uma substância aromática e abundante em vegetais, é encontrada na parede celular, oferecendo suporte estrutural, resistência e impermeabilidade. Lignina de Klason é apenas um método para determinar diretamente, através da massa, a quantidade de lignina insolúvel que permanece na amostra após uma lavagem com ácido sulfúrico diluído.

Alfacelulose é a porção da celulose que é insolúvel em uma solução de hidróxido de sódio a 17.5%, a temperatura de 20°C, e representa o teor verdadeiro de celulose pura do material. As celuloses que contêm um alto teor de alfa-celulose são usadas na fabricação de celulose, como acetato, nitrato, entre outros.

Hemicelulose são polímeros de pentoses planos encontrados intercalados entre celulose e lignina auxiliando essa ligação, conferindo elasticidade e impedindo que elas se toquem, protegendo as células.

Holocelulose é o conjunto de celulose e carboidratos presentes na célula vegetal, principalmente as pentoses, que em conjunto são denominadas hemicelulose.

As cinzas são, em suma, os minerais presentes na amostra e suas impurezas.

E a umidade é o teor de água presente na amostra.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Existem desvantagens relacionadas à biomassa na produção de energia, tais como um poder calorífico inferior se comparado ao carvão mineral e derivados de petróleo e as dificuldades de estoque, armazenamento e transporte, consequências da baixa densidade que os resíduos possuem (GRAUER e KAWANO, 2008). Assim, métodos para reverter e minimizar as desvantagens mencionadas tem sido estudados e testados. Um deles é a compactação, uma alternativa para aproveitar os resíduos vegetais e facilitar o transporte (FILIPPETTO, 2008).

O uso da biomassa tem um aspecto ambiental favorável já que a emissão de CO<sub>2</sub> da queima da biomassa na atmosfera geralmente é compensada pela absorção no plantio da nova biomassa (INGHAM, 1999). E o uso da madeira para produção de energia apresenta menores problemas de poluição quando comparada aos combustíveis fósseis, tendo em vista que a madeira possui um baixo teor de enxofre (CUNHA et al., 1989). Além disto, estudos da madeira como combustível, mostram que a combustão direta da madeira é sem dúvida o processo mais simples e econômico de se obter energia (Earl, 1975). E segundo a Eucalipto (2003), o Brasil consome atualmente 350 milhões de m<sup>3</sup>/ano, o que significa 8% do consumo mundial de madeira. Estudos mais recentes têm indicado que existem no país 4,6 milhões de ha de florestas plantadas, sendo 1,7 milhão do gênero Pinus e 2,9 milhões do gênero Eucalyptus. O caráter sustentável da biomassa é de suma importância nos países em desenvolvimento, haja vista que tradicionalmente a lenha e o carvão são as fontes energéticas mais utilizadas para o cozimento de alimentos e aquecimento de domicílios; frequentemente ocorre a exploração de florestas nativas para obtenção desses combustíveis, prejudicando a manutenção das matas nativas (KAREKESI et al., 2004).

A biomassa é o quarto recurso energético mais utilizado, fornecendo através da sua combustão aproximadamente 14 % das necessidades energéticas mundiais. Em alguns países em desenvolvimento, a biomassa chega a ser a mais importante fonte de energia (DEMIRBAS, 2004). Os resíduos da biomassa podem ser utilizados como combustíveis sólidos, para a produção de energia nas condições em que se encontram, sob controle de umidade; podem também ser transformados em partículas menores através de processos mecânicos, ou ainda, compactados na forma de briquetes e *pellets* (VALE e GENTIL, 2008).

O aproveitamento de recursos naturais como fontes de energia renováveis a partir de resíduos da biomassa, gera uma melhor posição no mercado de energia e contribui na redução de impactos ambientais provocados pela deposição inadequada desses resíduos no meio ambiente (VARELA et al. 1999).

Pode-se denominar como resíduo todo o material descartado durante ou após um processo produtivo, sendo possível empregá-lo como matéria-prima para diversos outros processos, como utilizá-lo na produção de biocombustíveis, o que reduz custos e agrega valor ao resíduo (VALE e GENTIL, 2008). A denominação “resíduo lignocelulósico” é devida à presença da lignina e celulose na composição desses materiais, que representam a fração mais expressiva da biomassa vegetal. Esses resíduos são constituídos por três principais componentes a lignina, a celulose e as hemiceluloses (polioses), que juntas perfazem mais de 90% da massa seca total (PANDEY et al., 2000).

O poder calorífico, o teor de umidade, a densidade e a análise imediata se destacam como as propriedades mais importantes da madeira para sua utilização como combustível. (BRITO e BARRICHELO, 1978). Ainda é importante ressaltar que o teor de umidade da madeira a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte,

agregando valor ao combustível. (Earl, 1975). Pois segundo CUNHA et al. (1989), quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia em combustão.

A biomassa é geralmente definida como um material hidrocarboneto composto principalmente de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio; o enxofre e outros minerais também estão presentes em menores proporções. A concentração dos elementos inorgânicos na constituição da biomassa é caracterizada pelo teor de cinzas característico do material, que é importante, pois o material inorgânico presente no biocombustível torna-se um resíduo após a combustão, além de ter um caráter abrasivo durante o processo de prensagem do material para a formação dos briquetes (YAMAN, 2003).

O conteúdo dos componentes minerais da madeira é normalmente pequeno, são os extrativos, componentes acidentais que não fazem parte da estrutura química da parede celular. Incluem um elevado número de compostos, sendo que a maioria são solúveis em água quente, álcool, benzeno e outros solventes orgânicos neutros. Apresentam baixo ou médio peso molecular, exceto alguns, como por exemplo os taninos. (BARRICHELO e BRITO, 1985). Formados principalmente por óxidos minerais, tais como: óxidos de cálcio, de magnésio, de fósforo, de silício, de potássio, dentre outros. A presença de alguns desses componentes influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos, a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira. Podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, podendo chegar a até 20% em madeiras normais de espécies de clima tropical. (PETTERSEN, 1984).

Os componentes inorgânicos dos materiais lignocelulósicos, que são responsáveis pela formação de cinzas residuais no processo de combustão, são constituídos basicamente de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), sódio (Na), ferro (Fe), silício (Si) e zinco (Zn). (JENKINS, 1990). Especificamente para a madeira do gênero *Eucalyptus*, o teor de cinzas raramente chega a 1% do seu peso seco. A presença de alguns desses componentes, como o cálcio, o fósforo e o enxofre, em dosagens elevadas, são prejudiciais e até mesmo limitantes, para determinadas finalidades industriais. (TSOUMIS, 1991).

A lignina é um polímero de natureza aromática e tridimensional, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenil-propano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira. (SJÖSTRÖM, 1993). É uma macromolécula complexa, não cristalina e confere proteção e rigidez às plantas (LEE, et al., 2011).

A celulose é o biopolímero mais abundante no meio ambiente, sendo o composto orgânico principal das fibras naturais e apresenta a fórmula geral  $(C_6H_{10}O_5)_n$  (FENGEL e WEGENER, 1989; YAMAN, 2004); é insolúvel em água, biodegradável e com alta massa molar, participando da estrutura do esqueleto da biomassa terrestre e constituindo aproximadamente 50% do material da parede celular vegetal (YAMAN, 2004).

As hemiceluloses, também conhecidas como polioses, são polissacarídeos, que diferem da celulose por serem compostas de várias unidades de açúcar, com pequenas cadeias moleculares menores e ramificadas (FENGEL e WEGENER, 1989). Encontram-se associadas à celulose e a lignina nas paredes celulares, devido à formação de ligações de hidrogênio com a celulose e covalentes com a lignina (REN e SUN, 2010).

Alfacelulose é a porção da celulose que é insolúvel em uma solução de hidróxido de sódio a 17.5%, a temperatura de 20°C, e representa o teor verdadeiro de celulose pura do material. (SILVÉRIO, F. O, 2006)

É importante lembrar que poder calorífico é mais alto quanto maior o teor de lignina e extrativos, porque os mesmo contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose). (Browning, 1963).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho, as análises foram realizadas no Laboratório de Biomassa e Bioenergia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, *campus* Sorocaba/SP.

#### **3.1 Materiais**

Os resíduos utilizados foram escolhidos pela produção abundante e disponibilidade no Brasil. O material utilizado foi a serragem de eucalipto (15 anos de idade) coletado em uma serraria na região de Itapetininga-SP. Os resíduos coletados foram armazenados em sacos plásticos e foram lacrados para conservar suas condições físicas até o momento das análises.

### 3.2 Normas utilizadas

As normas e padrões utilizados em todos os processos realizados com a serragem de Eucalipto em laboratório estão apresentados na Tab. 1 a seguir:

**Tabela 1. Normas utilizadas na análise das amostras**

Análises	Normas
Extrativos solúveis em água quente	TAPPI T204 cm-97
Extrativos solúveis em cicloexano/etanol	TAPPI T204 cm-97
Lignina Klason insolúvel	TAPPI T222 om-98
Holocelulose	
Alfacelulose	TAPPI T203 cm-99
Hemicelulose	*
Teor de cinzas	TAPPI T211 om-93
Teor de umidade	NBR 8112

(\*) É obtida através de comparação.

### 3.3 Metodologia realizada

A serragem de Eucalipto foi moída em um moinho Willey MA-340, e posteriormente passou por um agitador orbital de peneiras com batidas intermitentes, o material foi preparado para a análise química com granulometria de 60 Mesh, densidade de 0,27g/cm<sup>3</sup> e sem umidade.

Para determinar o teor de umidade, as amostras dos resíduos foram inseridas na balança determinadora de umidade. Foram utilizadas amostras de 2g. Repetiu-se o procedimento até que não houvessem variações de umidade.

Na determinação do teor de cinzas, pesou-se aproximadamente 1,0g de material seco e de granulometria retida em 100 mesh (0,15 mm), adicionou-se a um cadinho previamente calcinado a 600 °C. Aqueceu-se o cadinho em bico de Bunsen até que não houvesse chamas em seu interior. Levou-se o cadinho ao forno mufla (modelo LF0212, Jung, Brasil) à 600 °C por 3h. Após este período, o cadinho foi colocado e mantido em dessecador até atingir a temperatura ambiente, medindo-se a massa final em seguida. O teor de cinzas das amostras foi determinado pela diferença entre as massas inicial e final no cadinho, de acordo com a Eq. (1).

$$CZ = \frac{(M_1 - M_0) \times 100}{M} \quad (1)$$

Sendo:

CZ = teor de cinzas (%);

M<sub>0</sub> = massa do cadinho;

M<sub>1</sub> = massa do cadinho com a amostra após combustão.

A determinação dos teores de extrativos solúveis em água quente das amostras foi realizada utilizando água destilada. Foram utilizados envelopes de papel filtro, individuais para

cada amostra, contendo aproximadamente 1,0 g de material com granulometria retida em peneira de 60 mesh (0,25 mm); o período total de extração foi de 8 horas. Ao término da extração, os envelopes foram levados à estufa sob temperatura de 105 °C para secagem. O conteúdo de extrativos foi determinado pela diferença em massa do material seco antes e depois do processo de extração.

O teor de extrativos solúveis em água quente, foi calculado de acordo com a Eq. (2).

$$\%Ext_{H_2O} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1} \quad (2)$$

Sendo:

$M_1$  = massa da amostra de resíduo seco antes da extração;

$M_2$  = massa da amostra de resíduo seco após a extração;

$\%Ext_{H_2O}$  = porcentagem do teor de extrativos solúveis das amostras de resíduos em H<sub>2</sub>O quente.

Ao determinar os extrativos solúveis em cicloexano/etanol/água, os materiais foram submetidos à extração utilizando uma mistura de cicloexano/etanol (1:1, v/v). Para cada material foi utilizado um envelope de papel filtro contendo, aproximadamente, 1,0g de amostra seca e com granulometria retida em peneira de 60 mesh (0,25 mm), manteve-se a extração por um total de 13 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas do extrator e levadas à estufa em 105 °C para secagem. O conteúdo de extrativos foi determinado pela diferença em massa do material seco, antes e depois do processo de extração.

O percentual de extrativos solúveis em cicloexano/etanol foi calculado de acordo com a Eq. (3).

$$\%Ext_{CicloexanoEtanol} = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1} \quad (3)$$

Sendo:

$M_1$  = massa da amostra de resíduo seco antes da extração,

$M_2$  = massa da amostra de resíduo seco após a extração e

$\%Ext_{CicloexanoEtanol}$  = porcentagem do teor de extrativos solúveis das amostras de resíduos em cicloexano/etanol 1:1 (v:v).

A lignina Klason insolúvel foi determinada com aproximadamente 1,0g de amostra sem extrativos, seca e com granulometria retida em peneira de 60 mesh (0,25 mm), a amostra foi transferida para um erlenmeyer com capacidade de 250 mL e submetido à hidrólise com 15 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% durante 2 horas em agitação magnética constante. Em seguida, transferiu-se a solução contida no erlenmeyer para um balão de refluxo de 1000 mL, utilizando 560 mL de água destilada para a lavagem do erlenmeyer, diluindo a solução ácida para 3%, e permanecendo em refluxo por 4 horas. No fim do refluxo e resfriamento da solução, filtrou-se a lignina insolúvel em um funil de Buchner. A lignina, retida no funil, foi seca em estufa à 105 °C por um período de 4 horas, sendo em seguida resfriada em dessecador com sílica gel e pesada em balança analítica até massa constante.

O teor de lignina Klason insolúvel foi determinado de acordo com a Eq. (4).

$$\%LigninaKlason = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

$M_1$  = massa de lignina Klason insolúvel seca,

$M_2$  = massa da amostra seca inicial e

*%LigninaKlason* = Porcentagem do teor de lignina Klason insolúvel das amostras de resíduos.

O teor de holocelulose foi determinado da seguinte maneira: Em um erlenmeyer de 500 mL, adicionou-se cerca de 3,0 g de amostra, seca e sem extrativos, e 120 mL de água destilada. Em uma capela de exaustão, preparou-se um banho-maria, o qual se manteve uma temperatura constante a 70 °C. Ao erlenmeyer, foram acrescentados 2,5 g de clorito de sódio (NaClO<sub>2</sub>) e 1 mL de ácido acético glacial. O conjunto erlenmeyer e reagentes foi tampado com um erlenmeyer de 25 mL, mergulhado no banho-maria, aquecido por uma hora, e mantido sobre um agitador magnético ligado para agitação constante durante a reação. Após esse tempo, adicionou-se 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, mantendo a temperatura de 70 °C por mais uma hora. Ao final desse tempo, adicionou-se, mais uma vez, 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético, e prosseguiu-se com o aquecimento em banho-maria por mais três horas. Ao longo do aquecimento, ocorreu a elevação de cloro, como pôde ser notado pela formação de um gás amarelo-esverdeado dentro do erlenmeyer.

O conteúdo do balão foi transferido para um funil de Büchner, com agitação constante. Utilizou-se água destilada para lavar o erlenmeyer e o material recolhido até pH próximo ao da água utilizada, de modo que não ocorressem perdas de holocelulose. Lavou-se o material retido ainda no funil com cerca de 20 mL de acetona e mais água destilada. O material no filtro foi levado para a estufa à 105 °C e secado até massa constante. Após a secagem, resfriou-se a amostra em dessecador para posterior pesagem.

O conteúdo de holocelulose foi determinado a partir da Eq. (5).

$$\%TH = \frac{(MFH - MF)}{MA} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

*%TH* = teor de holocelulose em porcentagem

*MF* = massa do papel filtro seco

*MA* = massa da amostra inicial

*MFH* = massa do papel filtro somada à massa de holocelulose após secagem em estufa

Para realizar a extração da alfacelulose foi pesado aproximadamente 1g de holocelulose seca, colocada em um almofariz e adicionados 15mL de uma solução de NaOH 17,5%. Aguardou-se dois minutos de contato entre a solução e a holocelulose, e então o material começou a ser triturado por dez minutos. Após esse tempo o conteúdo do almofariz foi transferido para um funil à vácuo com ajuda de água destilada. O papel filtro contendo a alfacelulose retida foi levado para uma estufa a 105 °C e secado até adquirir massa constante. Após a secagem, resfriou-se a amostra em dessecador para posterior pesagem.

O conteúdo de alfacelulose foi determinado a partir da Eq. (6).

$$\%TA = \frac{(MFA - MF)}{MA} \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

*%TA* = teor de alfacelulose em porcentagem

*MFA* = massa do papel filtro somado a massa da alfacelulose após secagem na estufa

*MF* = massa do papel filtro seco

*MA* = massa da amostra inicial

#### 4. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos com a caracterização química dos componentes presentes na serragem de eucalipto.

**Tabela 2. Componentes presentes na serragem de eucalipto.**

Extrativos solúveis em água quente*	Extrativos solúveis em ciclohexano/etanol*	Lignina Klason insolúvel*	Holocelulose	Alfacelulose	Hemicelulose
9,80	1,51	28,91	76,44	66	10,44

(\*) Valores expressos em %.

A Tabela 3 apresenta as características químicas de análise imediata das amostras.

**Tabela 3. Características da análise imediata das amostras de eucalipto.**

Teor de cinzas	Teor de umidade
0,46	11,95

Valores expressos em %.

## 5. CONCLUSÕES

Os teores obtidos com as análises feitas na serragem de eucalipto encontram-se de acordo com o esperado, resultados os quais, permitem afirmar que o eucalipto pode ser uma forma de matriz energética pois possui as qualidades buscadas para a produção de biocombustível sólido.

Os números estão próximos de um valor obtido por Brito e Barrichello (1982). E ainda o teor de cinzas está dentro do aceitável, mostrando que o material gera poucos resíduos, este fato somado ao alto teor de lignina obtido evidencia um bom aproveitamento energético deste material, uma vez que segundo Jara (1989) o poder calorífico está relacionado principalmente à lignina e extrativos presentes na madeira.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217 - **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- BRITO, J. O. **USOS DIRETOS E PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: **SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS**. São Paulo, p. 101-137, 1982.
- CRUZ, M. P. **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO “PITCH” EM INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL DE Eucalyptus**. Quim. Nova, Vol. 29, No. 3, 459-466, 2006.
- CHRISOSTOMO, W. **Estudo da Compactação de Resíduos Lignocelulósicos para Utilização como Combustível Sólido**. 2011. 80f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.
- FILIPPETTO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. 2008. 74f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, ultra structure and reactions**. New York. Walter de Gruyter. p. 66-105, 1989.
- JENKINS, B.M., Baxter, L.L., Miles Jr., T.R., Miles, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 54, p. 17-46, 1998.
- GONÇALVES, J. E. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos**

- urbanos e madeira de Eucalyptus grandis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.5, p.657–661, 2009
- JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989.
- JENKINS, B. M. Fuel Properties for Biomass Materials. **International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role of Biomass Fuels.** May, Delhi, India, p. 21-23, 1990.
- LOBÃO, M. S. **CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES.** R. Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.
- MARTINS, A. F. **CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS LÍQUIDOS E DO CARVÃO DA PIRÓLISE DE SERRAGEM DE EUCALIPTO.** Quim. Nova, Vol. 30, No. 4, 873-878, 2007.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G. **Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior.** Biomass and Bioenergy, v. 27, n.6, p. 653-669, 2004.
- QUIRINO, W. F. **Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos.** Publicado na Revista da Madeira nº 89 abril 2005 pag 100-106.
- REN, J.L.; SUN, R.C. **Cereal straw as a resource for sustainable biomaterials and biofuels – chemistry, extractives, lignins, hemicelluloses and cellulose,** Oxford, Elsevier, 2010, 293 p. cap. 4, p. 73-76.
- SILVÉRIO, F. O.; BARBOSA, L. C. A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. **Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto.** Revista Árvore, v. 30, n. 6, p.1009-1016, 2006. 1009-1016, 2006.
- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) Standart Method T207 om-93 – Tappi Test Methods, 1993.
- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) Standart Method T211 om-93 – Tappi Test Methods, 1993.
- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) Standart Method T212 om-98 – Tappi Test Methods, 1998.
- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) Standart Method T222 om-88 – Tappi Test Methods, 1988.
- VASCONCELOS, G. C.; VERÍSSIMO, L. A. C.; SILVEIRA, A. A.; BIANCHINI, S. **Energia lignocelulósica da biomassa: uma perspectiva sustentável. II Congresso Brasileiro de Agroecologia.** Rev. Bras. Agroecologia, v. 2, n. 1, fev. 2007.

Os autores se declaram responsáveis pelo conteúdo apresentado neste trabalho.