

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

JORDÃO CABRAL MOULIN

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DA MARAVALHA GERADA EM UMA  
SERRARIA NO MUNICÍPIO DE JERÔNIMO MONTEIRO/ES

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2010

JORDÃO CABRAL MOULIN

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DA MARAVALHA GERADA EM UMA  
SERRARIA NO MUNICÍPIO DE JERÔNIMO MONTEIRO/ES

Monografia apresentada ao  
Departamento de Engenharia  
Florestal do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal  
do Espírito Santo, como requisito  
parcial para obtenção do título de  
Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2010

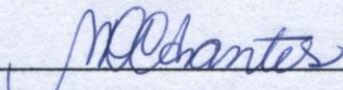
JORDÃO CABRAL MOULIN

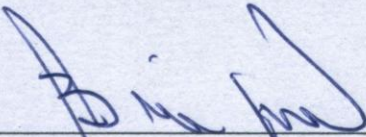
**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE MARAVALHAS GERADA EM  
SERRARIA NO MUNICÍPIO DE JERÔNIMO MONTEIRO/ES**

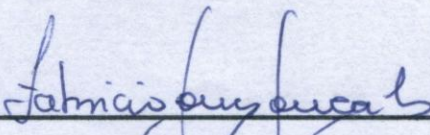
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro

Aprovada em...18...de...*Novembro*...de 2010

**COMISSÃO EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Marina Donária Chaves Arantes  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Juarez Benigno Paes  
Universidade Federal do Espírito Santo

  
\_\_\_\_\_  
Fabricio Gomes Gonçalves  
Universidade Federal do Espírito Santo

A Deus Pai todo poderoso, pelo dom da vida.

A meus pais, exemplo de vida e amor.

A minha irmã pelo apoio e carinho.

Aos amigos que me apoiaram, ajudaram e acreditaram no sucesso desse trabalho.

"O mais importante da vida não é a situação em que estamos, mas a direção para a qual nos movemos."

Oliver Wendell Holmes

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me abençoar e iluminar o meu caminho.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, por ceder equipamentos e laboratórios, tornando possível a realização desse trabalho.

Ao Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal de Lavras, pela realização dos ensaios de química elementar e poder calorífico, sendo parte fundamental para a execução desse trabalho.

A serraria M. A. R. Perciliano – ME por ter concedido o material para o pleno desenvolvimento do trabalho.

Aos meus pais, Onofre e Roseni, pelo carinho e amor, e por tudo o que fizeram para que eu realizasse todas as conquistas em minha vida.

A minha orientadora Marina Donária Chaves Arantes, pela orientação, dedicação, compreensão e conhecimentos transmitidos.

Aos técnicos Gilson Barbosa São Teago e José Geraldo L. de Oliveira, pelo apoio, compreensão e fundamental auxílio na preparação e condução dos testes laboratoriais.

Ao auxílio prestado pelos colegas de laboratório.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante toda a minha jornada.

Ao Rafael Amorim Rosa, pela amizade e apoio dado.

Ao meu professor amigo Juarez Benigno Paes, pelos conselhos que sempre serão lembrados.

Aos professores da graduação do curso de Engenharia Industrial Madeireira, pelos ensinamentos transmitidos.

## RESUMO

A maioria das indústrias madeireiras processam a madeira de maneira ineficiente, ocorrendo grande geração de resíduos, os quais podem prejudicar economicamente a empresa e o ambiente quando manejados de maneira inadequada. Por isso, esse trabalho teve como objeto realizar a quantificação e qualificação energética da maravalha gerada em uma serraria do município de Jerônimo Monteiro/ES, esse material era composto por uma mescla de diversas madeiras. Foram realizadas visitas técnicas na serraria duas vezes por mês com intuito da realização da análise quantitativa, que foi calculada a partir de um recipiente conhecido, e para a coleta de três amostras para a realização das análises de umidade, densidade a granel, análise química, teor de cinzas, análise química elementar e o poder calorífico. Concluiu-se que a densidade a granel da maravalha analisada é apropriada para produção de briquete, e a partir das outras análises, verificou que este resíduo é adequado para a produção de energia. O proprietário da serraria pode vir a utilizar esse material como fonte de energia, conseqüentemente minimizar seus gastos, além de evitar danos ao ambiente.

Palavras-chave: Serraria. Maravalha. Reaproveitamento. Energia.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTAS DE QUADROS .....	viiviii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 O problema e sua importância .....	2
1.2 Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Resíduos de madeira .....	4
2.2 Qualidade do resíduo de madeira .....	6
2.2.1 Umidade dos resíduos .....	6
2.2.2 Densidade dos resíduos .....	7
2.2.3 Composição química dos resíduos.....	8
2.2.4 Teor de cinzas nos resíduos.....	10
2.2.5 Poder calorífico .....	12
2.3 Usos dos resíduos de madeira.....	13
3 METODOLOGIA.....	15
4 RESULTADOS DA PESQUISA.....	18
4.1 Análises dos resíduos de madeira .....	18
4.2 Composição química dos resíduos .....	21
4.3 Análise elementar da maravalha .....	23
5 CONCLUSÕES .....	26
6 REFERÊNCIAS.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição média dos componentes macromoleculares na madeira.....	8
Tabela 2 – Análise química imediata dos resíduos de <i>Eucalyptus</i> spp. ....	11
Tabela 3 – Valores médios de umidade, volume, densidade a granel, teor de cinzas e poder calorífico para as amostras de maravalha .....	18
Tabela 4 – Valores médios de lignina, extrativos e holocelulose para as amostras de maravalha .....	21
Tabela 5 – Valores médios de nitrogênio, carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, relação carbono/hidrogênio e carbono/nitrogênio para as amostras de maravalha .....	23



## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Representação das datas de coleta das amostras.....	15
--	----

## 1 INTRODUÇÃO

O setor florestal enfrenta grandes problemas em sua cadeia produtiva, de naturezas e causas diversas, sendo visualizada a escassez da matéria-prima (REMADE, 2009). Diante desse problema, o país vem buscando melhorar essa situação com o manejo florestal sustentável, sendo que também contribui para a redução da exploração de florestas nativas, aumentando tanto o rendimento e a rentabilidade da atividade florestal e reduzindo os resíduos durante a colheita.

A indústria madeireira vista de maneira global, utiliza os recursos naturais de maneira ineficiente, tanto na obtenção de matéria-prima quanto na fase de produção, ocorrendo uma alta geração de resíduos, os quais podem prejudicar o ambiente quando manejados de maneira inadequada, e até mesmo causar alguns problemas no processo produtivo da empresa.

Para reduzir os impactos negativos que os resíduos causam, seria importante o Brasil criar uma legislação em que obrigue o gerador do resíduo dar um destino apropriado para os mesmos, ou que ocorra uma cobrança de taxas por quantidade de resíduos gerados, como é realizado em alguns países da Europa (QUIRINO, 2010). Além de ajudar a preservar o ambiente, poderia estar também contribuindo para o reaproveitamento de resíduos, consequentemente podendo criar novos empregos.

No seguimento madeireiro, o aproveitamento de resíduos gerados pela extração e industrialização da madeira pode beneficiar desde indústrias de processamento primário até fábricas de móveis (REMADE, 2008).

Para a realização da codificação de resíduos nas indústrias madeireiras alguns fatores podem ajudar como: o trabalho de profissionais capacitados, convênios com universidades e à implantação de cursos de curta e média duração, com objetivo de disseminar idéias para as empresas empregarem novas técnicas de planejamento de armazenamento, estimar a quantidade de resíduos gerados, transporte e transformação em subprodutos de maior valor agregado.

Existem várias formas de aproveitamento de resíduos madeiráveis, alguns exemplos são: cama de frango, produção de mudas, no paisagismo como material inerte de decoração, em indústrias de painéis de madeira reconstituída, produção de pequenos objetos de madeira, produção de briquetes para geração de energia

(REFERÊNCIA, 2009). De acordo com Júnior et al. (2003) a briquetagem é uma das alternativas tecnológicas para o melhor reaproveitamento dos resíduos de biomassa.

## **1.1 O problema e sua importância**

O consumo de madeira aumenta juntamente com o desenvolvimento do país, com isso ocorre uma crescente geração de resíduos, os quais prejudicam economicamente a empresa e podem causar impactos negativos ao ambiente. O Brasil enfrenta problemas relacionados à contaminação dos solos e lençóis freáticos por causa do acúmulo e descarte inadequado de resíduos das indústrias madeireiras (PAULA, 2006). Para a redução desses problemas é racional a realização de reaproveitamento desses resíduos.

Existe uma grande importância nos estudos embasados em problemas inerentes à geração de resíduos como suas características e quantidades geradas, pois, maiores serão as chances de um uso mais adequado desses resíduos.

Com o reaproveitamento de resíduos as serrarias terão outra fonte de renda, obtendo-se a partir de um material que era descartado. Outro fator significativo na codificação dos resíduos é que as serrarias poderão utilizar como 'marketing', com a finalidade de beneficiar sua imagem e posicionamento no mercado.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Realizar a quantificação e qualificação da maravalha gerada em uma serraria no Município de Jerônimo Monteiro para fins energéticos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

A qualificação do material coletado na serraria das diferentes datas foi analisada da seguinte forma:

- Realizar análise de umidade nos resíduos;

- Obter a densidade a granel;
- Realizar análise química e análise elementar;
- Obter o teor de cinzas e o poder calorífico superior da maravalha;
- Obter o volume de maravalha gerada por mês na serraria.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Resíduos de madeira

O Brasil é um grande produtor de madeira e ao mesmo tempo um grande consumidor; conseqüentemente ocorre uma produção de 60 milhões de toneladas de resíduos por ano, e o País está entre os melhores exemplos de potencialidade para o uso de resíduos madeiráveis para a geração de energia (REFERÊNCIA, 2009).

De acordo com Teixeira e César (2006) o processo realizado da extração da árvore até a transformação da madeira no produto final desejado é gerido de forma ineficiente. Somado a isso, o descarte dos produtos madeiráveis no fim de sua vida útil demonstram a grande exploração dos recursos madeireiros, conseqüentemente levando a uma ampla geração de resíduos.

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 10004 da associação Brasileira de Normas Técnica – ABNT (2004) o resíduo é todo material descartado nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado, não apresenta valor de uso ou econômico na forma em que se encontra, podendo causar impactos negativos ao ambiente quando manejados de maneira imprópria.

Conforme a NBR 1004 (ABNT, 2004) os resíduos sólidos são classificados em dois grupos: perigosos e não perigosos, os perigosos podem causar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; ocasionar riscos ao ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. O segundo grupo são os não perigosos, que são todos aqueles que não fazem parte dos resíduos perigosos, porém, é subdividido no não inerte e inerte, o primeiro podem possuir propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; e o inerte, que são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

Ainda de acordo com a NBR 1004 (ABNT, 2004) os resíduos florestais são classificados como não perigosos e não inerte, composto por todo e qualquer material resultante da colheita ou do processamento da madeira e,ou, de outros recursos que continuam sem utilidade definida.

A qualidade dos resíduos é medida por meio das variáveis mais importantes, que são: granulometria, umidade, matéria-prima, existência de extrativos que podem prejudicar alguns usos como utensílios domésticos de cozinha e cama para animais; nível de contaminação com outros materiais, exemplo pedras, terra, pregos; densidade do material; nível de degradação e poder calorífico (REFERÊNCIA, 2009).

Conforme C. T. Donovan Associates INC. (1990 citado por Brand et al. 2002) os resíduos madeiráveis são divididos em três categorias. A primeira categoria é composta por resíduos silviculturais, ou seja, proveniente da operação de transformação da árvore inteira em toras, exemplos: galhos e ramos. A segunda categoria é formada por resíduos de conversão "*in situ*", são árvores situadas a margens dos quintais domésticos, de rodovias e de indústrias, entre outros lugares, em que as madeiras são transformadas em partículas, exemplos: copas, galhos e ramos. A terceira categoria são os resíduos provenientes do desdobro primário e secundário da madeira, podendo ser: costaneiras, cascas, serragem, maravalha, cavacos, aparas, pontas, pedaços desclassificados no controle de qualidade.

Para o Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Paraná – IBQP (2002 citado por CASSILHA et al., 2004), os resíduos de madeiras são classificados de acordo com as dimensões, em que o cavaco possui dimensão máxima de 50 x 20 mm, provenientes do uso de picadores, maravalha é o resíduo com mais de 2,5 mm de comprimento, normalmente gerada pela plaina; a serragem possui dimensões entre 0,5 a 2,5 mm, sendo partículas provenientes do uso de serras; e por fim, o pó, resíduos menores que 0,5 mm.

Segundo Schneider et al. (2007) boa parte dos resíduos sólidos da cadeia produtiva de madeira são gerados no processamento da madeira serrada. Embora a fração percentual que representa os resíduos varie em função de vários fatores; ocorrendo uma significativa perda no desdobro e nos cortes de resserra, e as quantidades de resíduos gerados variam também de regiões para regiões brasileiras.

No entanto, independentemente que a serraria consiga um ótimo rendimento ou que evite o desperdício da madeira, é inevitável que ocorra pelo menos o mínimo de geração de resíduos.

Conforme Brand et al. (2002) com a formação de resíduos, pode surgir problemas como o assoreamento e poluição dos rios, poluição do ar por causa da queima dos mesmos, perda de espaço para o armazenamento, deixando também a serraria com aspecto sujo e propiciando maior índice de acidentes.

Esses problemas provocados pelos resíduos nas serrarias podem ser resolvidos com o reaproveitamento, como para a produção de briquetes, assim a matéria-prima seria explorada de forma mais racional, conseguindo evitar o desperdício do material e a poluição do ambiente, proporcionando também outra fonte de renda para o proprietário da serraria.

## **2.2 Qualidade do resíduo de madeira**

### **2.2.1 Umidade dos resíduos**

De acordo com Silva e Oliveira (2003) a umidade não é considerada como uma característica intrínseca da madeira, o seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento do material, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural. Por ser um material orgânico e de estrutura complexa e heterogênea, a madeira é altamente higroscópica, retraindo-se e inchando de acordo com a umidade do ambiente. Essa variação de umidade afeta a geometria das peças em serviço, em virtude da retração e do intumescimento, o que afeta as características de resistência mecânica dos elementos estruturais.

A umidade da madeira depende principalmente da umidade relativa e da temperatura do meio. Fixando-se essas variáveis, o teor de água da madeira ajusta-se a um valor denominado umidade de equilíbrio. Isso torna possível a estimativa da umidade da madeira utilizada em diferentes condições ambientais (GALVÃO, 1975).

A produção de calor por unidade de massa da madeira é influenciada principalmente pela umidade que o material apresenta, demonstrando assim, a importância que a umidade possui sobre a madeira utilizada para fins energéticos.

Barroso, Vale e Xavier (2009) verificaram a umidade e o poder calorífico superior e inferior dos resíduos madeiráveis de sete espécies provenientes da poda de galhos da arborização urbana de Brasília/DF. Com o objetivo de verificar sua viabilidade energética para utilização em setores comerciais e industriais. Os autores concluíram que deve ser elaborado um plano de secagem para reduzir a umidade da madeira, conseqüentemente diminuiriam a quantidade de material a ser queimado e assim reduziria os gastos com os mesmos.

Ferreira et al. (2007) estudaram a influência da umidade no poder calorífico em diferentes idades de árvores de *Pinus taeda*, sendo utilizados acículas, copas, galhos e cascas dessa madeira, verificaram que os materiais com maior umidade, foram os que apresentaram menor poder calorífico.

### **2.2.2 Densidade dos resíduos**

Quando se pretende avaliar a qualidade da madeira, a densidade é uma das principais características a serem consideradas, uma vez que está relacionada com alguns aspectos tecnológicos e econômicos muito importantes. Citam-se, como exemplos, a contração e o inchamento, a resistência mecânica das peças, o rendimento e a qualidade da polpa celulósica, a produção e a qualidade do carvão vegetal e os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento (PEREIRA et al., 2000).

A densidade é um fator importante que influencia no respectivo uso da madeira, pois, afeta diretamente na parte física e mecânica. A densidade varia em função das dimensões das fibras, traqueídeos, vasos, canais resiníferos, raios, e por suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares (GONÇALVEZ, 2000). Existem várias formas para obter a densidade da madeira e de resíduos, uma delas é a densidade a granel, sendo calculada a partir da relação entre o peso do material e o volume do recipiente, dada em  $\text{kg.m}^{-3}$ , conforme a NBR 6922 (ABNT, 1983).

Hillig et al. (2009) verificaram a densidade a granel dos resíduos de diferentes classes, provenientes das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus* sp., *Apuleia leiocarpa* (garapeira) e *Tabebuia cassinoides* (caixeta). Os valores médios de densidade a granel citados para as diferentes classes de resíduos foram: serragem



com heterogeneidade de materiais (cascas, resíduos de laminas, madeira, entre vários outros), obtendo  $223 \text{ kg.m}^{-3}$ ; serragem de madeira serrada com  $216 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Ribeiro e Machado (2005) determinaram a densidade a granel do *Eucalyptus urophylla* aos 7 anos de idade e de três resíduos: lascas, cascas e maravalhas; provenientes do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* sp de 45 anos. Obtendo os resultados de densidades: para as lascas  $190 \text{ kg.m}^{-3}$ , cascas  $190 \text{ kg.m}^{-3}$  e para maravalhas  $130 \text{ kg.m}^{-3}$ , e para o *Eucalyptus urophylla*  $280 \text{ kg.m}^{-3}$ . Notando-se então uma grande diferença entre a densidade dos resíduos do *Eucalyptus* sp com a densidade da madeira do *Eucalyptus urophylla*.

### 2.2.3 Composição química dos resíduos

Conforme Pimenta e Barcellos (2000) a madeira é composta, basicamente, de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio. Essa constituição se mantém mais ou menos constante, independentemente da espécie, de diferenças genéticas ou da idade. Esses compostos influenciam no poder energético da madeira, pois, segundo Obernberger (2005), altos valores de carbono e de hidrogênio cooperam positivamente para o poder calorífico, ao contrário do oxigênio. Já enxofre e nitrogênio presente na madeira contribuem negativamente para saúde humana e para o ambiente.

O carbono, oxigênio e hidrogênio são responsáveis basicamente para a formação da celulose, hemicelulose e lignina. A madeira ainda é formada pelos extrativos e cinzas (PIMENTA; BARCELLOS, 2000). A composição média dos componentes macromoleculares é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição média dos componentes macromoleculares na madeira

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	$42 \pm 2\%$	$45 \pm 2\%$
Hemicelulose	$27 \pm 2\%$	$30 \pm 5\%$
Lignina	$28 \pm 2\%$	$20 \pm 4\%$

Fonte: Klock et al. (2005).

Segundo Klock et al. (2005) a celulose é o composto orgânico mais comum encontrado na natureza, sendo o componente majoritário da madeira, tanto de coníferas quanto de folhosas. É caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de D-glucose, o qual é um açúcar simples, com nomenclatura de monossacarídeo hexose ( $C_6H_{12}O_6$ ). Por causa das suas propriedades químicas e físicas, bem como a sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais.

Conforme o mesmo autor, as hemiceluloses estão em estreita associação com a celulose na parede celular. Suas cadeias moleculares são muito mais curtas que a de celulose, podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos. As folhosas, de maneira geral, contêm maior teor de hemicelulose que as coníferas, e sua composição são diferenciadas. O último componente macromolecular da madeira é a lignina, sua formação é completamente diferente dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. A lignina tem função de ser o agente cimentante da madeira.

O extrativo está presente na estrutura química da madeira, podendo ser classificado como terpenos e terpenóides, compostos alifáticos e compostos fenólicos. O extrativo possui baixo peso molecular, é um composto orgânico, formado por diversos componentes, de estrutura química muito diversa, são encontrados nas cascas, folhas e acículas, flores, frutos e sementes e quase sempre as quantidades nessas partes da árvore são proporcionalmente maiores que na madeira. Os extrativos não são difíceis de serem extraídos, os solventes mais utilizados para a obtenção dos extrativos são diclorometano, etanol e água. A madeira seca é constituída aproximadamente por 3 a 10% de extrativos, para madeira de coníferas, essa faixa varia de 5 a 8%, nas folhosas de regiões temperadas estão entre 2 a 4%, já a madeira de espécies de regiões tropicais os valores de extrativos podem ser superior a 10% (KLOCK et al., 2005).

A composição química da madeira influencia nas propriedades físico-química do carvão, pois, quanto maior o teor de lignina presente na madeira, mais energético será o carvão e ocorrerá um maior rendimento gravimétrico no fim do processo de carbonização, isso acontece em função da alta resistência térmica da lignina que é o

composto primário que apresenta maior teor de carbono em sua composição (PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

Paula et al. (2010) realizaram a caracterização química de resíduos lignocelulósicos visando à produção de energia. Para serragem encontraram valores de 9,37% de extrativo; 21,88% de lignina e 68,57% para a holocelulose, os valores para a maravalha foram, 5,60% de extrativo; 20,62% de lignina e 73,65% de holocelulose, indicando assim, que os resíduos possuem potencial para a utilização energética.

Couto (2009), avaliou o poder energético da serragem de *Eucalyptus* sp., realizando a análise elementar, cujo os valores obtidos em porcentagens para o carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio foram 45,5, 6,2, 0,13, 0,07, 48,1 respectivamente. Foi concluído que os valores apresentaram-se adequados para a produção de energia.

Santana (2009) avaliou o poder energético da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, realizando uma relação de carbono/nitrogênio e carbono/hidrogênio. Os valores encontrados variaram de 374,77 a 543,67 e 7,29 a 7,40, respectivamente para carbono/nitrogênio e carbono/hidrogênio. Concluindo que a madeira analisada estava adequada para produção de energia.

#### **2.2.4 Teor de cinzas nos resíduos**

A madeira tem em sua composição as cinzas, conhecidas também como minerais, estando presentes tanto no lenho juvenil e tardio, como também na casca, apresentando diferentes concentrações em ambas as partes (BARCELLOS et al., 2005).

Segundo Trugilho, Lima e Mendes (2009) a quantidade de cinzas presente na madeira é geralmente pequena, sua composição básica é óxido de cálcio, magnésio, fósforo, silício, potássio, entre outros.

O teor de cinzas é o resíduo que permanece após a queima total da madeira, normalmente varia de 0,5% até um pouco mais de 5%, sua quantidade depende da espécie de madeira utilizada, quantidade de casca e a presença de impurezas na madeira. Um alto teor de cinzas pode corroer equipamentos metálicos (PEREIRA et al., 2000). Quando a madeira é utilizada para produção de energia, a cinza presente

em sua composição, pode vir a prejudicar o processo com a formação de incrustações nos equipamentos e nas tubulações. O carvão vegetal utilizado em siderurgias deve possuir baixo teor de cinzas, os quais causam problemas na qualidade do aço produzido, sendo o problema ainda maior na produção de ligas metálicas (BARCELLOS et al., 2005).

Pinheiro, Rendeiro e Pinho (2004) estudaram os resíduos gerados em três empresas madeireiras do Estado do Pará, tendo os resultados obtidos para as amostras coletadas nos três locais apresentado valores similares entre si, conforme as seguintes faixas: teor de carbono fixo: 75 a 85%; teor de cinzas: 0 a 5%; teor de materiais voláteis: 15 a 25%; poder calorífico superior: 4.000 a 5.000 cal/g. Os valores das análises químicas encontrados estão de acordo com os dados da literatura e foi observado que os valores de umidade influenciaram significativamente o poder calorífico inferior, já que a umidade coopera negativamente com a produção de calor por unidade de massa.

Ribeiro e Machado (2005) avaliaram três resíduos, sendo as lascas, cascas e maravalhas, provenientes do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* spp de 45 anos. Foram utilizadas duas temperaturas máximas, visando à determinação dos materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química imediata dos resíduos de *Eucalyptus* spp.

Material carbonizado	Materiais voláteis (%)		Cinzas (%)		Carbono fixo (%)	
	400 °C	600 °C	400 °C	600 °C	400 °C	600 °C
Temperatura						
Lascas	28,3	10,5	1,2	1,6	70,5	87,4
Cascas	27,4	10,4	2,0	2,1	70,6	88,0
Maravalhas	27,4	9,2	1,6	1,9	71,0	88,9

Fonte: Ribeiro e Machado (2005).

Ribeiro e Machado (2005), observaram que o teor de cinzas não variou entre as duas temperaturas, havendo, porém uma tendência no aumento do mineral quando foi carbonizado a 600°C. Concluíram ainda que o material carbonizado à temperatura de 600°C, apresentou melhores propriedade energética, fato este, por causa do maior teor de carbono fixo e menor teor de material volátil.

### 2.2.5 Poder calorífico

O poder calorífico é a medida da quantidade de energia que o combustível libera quando queimado totalmente, dado normalmente cal/g ou kcal/kg para os combustíveis sólidos, e líquidos é em kcal/m<sup>3</sup> para os combustíveis gasosos (QUIRINO, 2004).

A medida do poder calorífico é de extrema importância na avaliação energética de qualquer combustível. Todo combustível possui dois tipos de poder calorífico, um chamado de poder calorífico superior e o outro de poder calorífico inferior. O poder calorífico superior é obtido em equipamentos apropriados denominados de calorímetros, sendo a medida da máxima quantidade de energia que um combustível pode liberar, pois aqui o calor latente do vapor d'água não é perdido. O poder calorífico inferior é obtido sem levar em consideração o calor latente do vapor d'água. A água gerada é perdida sob a forma de vapor pelo sistema, levando consigo uma parte da energia liberada pelo material, sendo o calor latente do vapor d'água (PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

Segundo os mesmos autores, o poder calorífico inferior retrata melhor o comportamento do combustível, pois, na maioria dos processos, os gases da combustão são procedidos em temperatura acima do ponto de ebulição da água, carregando consigo uma quantidade de energia correspondente ao calor latente de vaporização.

Algumas características da madeira influenciam o valor do seu poder calorífico. Quanto menor a umidade da madeira, maior será a produção de calor por unidade de massa. A madeira não deve possuir umidade superior a 25%, pois os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape. Os constituintes químicos da madeira, também têm influência sobre o poder calorífico (FARIANHAQUE, 1981; citado por VALE et al., 2000).

Segundo Pereira et al. (2000) as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica e madeiras mais leves possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de peso, mas possuem menor poder calorífico por unidade de volume.

Brand et al. (2004) estudaram o potencial energético de resíduos madeiráveis e a influência do tempo de armazenamento na qualidade do material, foram

utilizadas toras de *Pinus*, *Eucalyptus* e *Pinus* atacado por vespa da madeira, lâminas, costaneiras, cavacos e serragem produzidos na indústria. Com exceção dos cavacos e serragem, todos os materiais ficaram retidos por seis meses, e analisados após um, quatro e seis meses de armazenamento. A serragem foi coletada na empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda. O poder calorífico superior dos resíduos variou entre 4100 e 4800 cal.g<sup>-1</sup>. Este valor é teórico, pois é determinado na madeira em peso anidrido. Assim, o valor que interessa para a geração de energia é o poder calorífico líquido que variou de 940 cal.g<sup>-1</sup>, material com 65% de umidade, e 3800 cal.g<sup>-1</sup>, material com 10% de umidade. Concluindo que o poder calorífico aumenta com a redução da umidade.

### **2.3 Usos dos resíduos de madeira**

No Estado do Pará, Gomes e Sampaio (2004) avaliaram a destinação dos resíduos gerados, por três empresas madeireiras foram: da primeira empresa foram para energia e adubo orgânico, da segunda foi para energia, ocorrendo estocagem de resíduo no pátio, a última empresa foi para energia, cerâmicas, olarias, padarias, granjas, cabos-de-vassoura, tendo também estocagem dos resíduos no pátio. Os autores concluíram que é conveniente e necessário o aproveitamento desses resíduos, para a redução de áreas de estocagem, menores custos de movimentação e redução da poluição ambiental, beneficiando as empresas com a redução de custos de produção, e até mesmo para aumentar a renda das empresas.

Teixeira e César (2006), estudando a aplicação de conceitos da Ecologia Industrial na produção de um material compósito ecológico com base no resíduo de indústrias madeireiras, concluíram que a serragem de madeira pode ser usada como componente de um eco-compósito que, além de ser produzido por um processo de fabricação de baixo impacto ambiental, mostrou-se ter boas propriedades físicas e mecânicas. Portanto o uso do resíduo na forma de serragem reciclada é uma ótima resposta de preservação do ambiente.

Lima e Silva (2005) avaliaram a quantidade, os tipos, o aproveitamento e o tratamento dos resíduos gerados no processo de produção de móveis em indústrias de móveis de madeira situadas no Pólo Moveleiro de Arapongas, município

localizado no norte do Paraná. Concluíram que os resíduos mais produzidos foram os derivados da madeira, os quais eram recolhidos e conduzidos para serem processados em uma usina de resíduos em que as empresas são vinculadas, para a produção de briquetes, vale ressaltar que os resíduos de maiores dimensões como os cepilhos e os destopos passam por um picador por meio de uma esteira trepidante, sendo misturados ao pó de madeira que vem direto dos silos das indústrias, e transformados em briquetes, logo esse produto é comercializado para uma indústria de ração animal para a geração de energia. Para produção dos insumos da indústria, todos os outros resíduos como plástico, papelão, lixas, latas, entre outros, vão para um outro setor e são separados e embalados para serem comercializados posteriormente.

Nota-se a grande vantagem nos estudos relacionados ao reaproveitamento de resíduos madeiráveis, verificando que esses resíduos poderão oferecer outra fonte de renda para os próprios geradores e causa benefícios até mesmo no processo produtivo, como redução de áreas de estocagem, menores custos de movimentação (transporte).

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada à quantificação e qualificação do resíduo maravalha. A coleta do material foi executada na serraria M. A. R. Perciliano - ME, localizada no município de Jerônimo Monteiro/ES, a pesquisa ocorreu durante o período de maio a outubro de 2010.

A empresa usa em seu processo produtivo, tanto madeira de reflorestamento quanto madeiras nativas, sendo as principais: *Eucalyptus* sp.(eucalipto), *Acacia polyphylla* (acácia), *Anadenanthera* sp. (angico), *Laurus nobilis* (louro), *Gallesia intergrifolia* (pau d'algo) e *Plathymenia* sp. (vinhático). Os resíduos gerados dessas madeiras são armazenados juntos no pátio da serraria. Como os resíduos não são separados de acordo com a espécie que a originou, os materiais obtidos para a realização das análises foram uma mescla dessas madeiras.

A escolha da maravalha para realização do experimento foi por causa da sua maior quantidade quando comparado aos outros resíduos gerados na serraria, este material é originado principalmente pelas operações na plaina e a desengrossadeira. Esse resíduo está presente na classificação da terceira categoria dos resíduos, sendo os resíduos provenientes do desdobro primário e secundário da madeira.

Ocorreram visitas técnicas à serraria duas vezes por mês, com a finalidade de realizar a análise quantitativa e para a coleta de três amostras, as quais foram obtidas de diferentes locais da empresa.

As datas em que foram realizadas as coletas foram denominadas de acordo com a identificação apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Representação das datas de coleta das amostras.

<b>Data</b>	<b>Identificação</b>
13 de maio	A
01 de julho	B
16 de julho	C
06 de agosto	D
18 de agosto	E
02 de setembro	F
16 de setembro	G
04 de outubro	H

Fonte: Elaborado pelo autor.



No Laboratório de Energia da Biomassa foi realizada a análise de umidade, teor de cinzas e a densidade a granel. A análise química da madeira procedeu-se segundo ABCP M/68 e Norma Tappi T204-05-76 (1976), no Laboratório de Química da Madeira.

Para a determinação da umidade foram utilizados seis gramas de maravalha para cada amostra, em seguida foram conduzidas à estufa à temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2$ , após 3 horas as amostras eram pesadas de 30 a 30 minutos para verificar se as mesmas estavam com massa constante. Após este período foi determinada a umidade da maravalha.

O teor de cinzas foi realizado de acordo com a ABCP M 11/77 (1977). Essa análise consiste na utilização de 5 gramas secos de maravalha, que eram colocadas em um cadinho de porcelana para posteriormente serem conduzidas para mufla a  $575^{\circ}\text{C}$  por  $\pm 6$  horas. Inicialmente, os cadinhos eram dispostos dentro da mufla com tampa de porcelana e, após a carbonização das amostras, as tampas eram retiradas e os cadinhos continuavam dentro da mufla até a total queima das amostras, o que certificava que somente as cinzas sobravam no fundo do cadinho. Após esse procedimento, as amostras eram retiradas da mufla e alocadas em um dessecador para o resfriamento e posterior pesagem.

A densidade a granel foi realizada conforme a NBR 6922 (ABNT, 1983), essa análise consiste na introdução do material dentro de uma caixa com dimensões conhecidas para ser pesado, em seguida foi realizada a diferença da massa total (caixa + material) com a massa do recipiente (caixa vazia) para se obter a massa da amostra, assim, para a determinação da densidade a granel foi utilizado a relação entre massa do material e volume do recipiente.

O volume de resíduo gerado na serraria foi calculado com base na densidade a granel, em que era verificado o número de caixa necessária para quantificar toda maravalha da empresa, após esse processo, foi multiplicado o volume do recipiente com o número de caixas, resultando no volume total do resíduo naquela data. Para o cálculo do volume mensal utilizou-se uma média das diferentes datas de coleta, em seguida multiplicado pelo número de dias que a empresa trabalha (22 dias/mês), esse cálculo pôde ser realizado em função do proprietário da empresa afirmar que a quantidade da maravalha gerada não varia ao longo do mês.

A análise química da madeira, que consiste na quantificação da lignina, extrativos e, por diferença, as holoceluloses, procedeu-se segundo ABCP M/68 e Norma Tappi T204-05-76 (1976), no Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo – ES.

Para a quantificação dos extrativos foi utilizado a serragem que passou na peneira de 40 mesh e que ficou retido na peneira de 60 mesh, sendo utilizado 2g secos dessa serragem em 3 tipos diferentes de solventes. Primeiramente, a extração foi realizada em álcool tolueno por 5 horas e, em seguida, as mesmas amostras foram submetidas à extração em álcool por 4 horas e, finalmente, foi realizada a extração em água quente durante 1 hora, para retirada dos extrativos. Após essas extrações a amostra foi pesada para obtenção do teor de extrativo.

Após a remoção dos extrativos da madeira, pesou-se 0,3 g de serragem para a quantificação da lignina. Nessas amostras foram colocados 3 ml de ácido sulfúrico 72% e, mantidas em banho maria a  $30 \pm 0,2$  C° por 1 hora. Após este período as amostras foram diluídas em água destilada e colocadas em um frasco fechado hermeticamente, com tampa de borracha e lacre de alumínio, sendo levadas para uma autoclave com água a 118 C° durante 1 hora. Depois de retiradas da autoclave, as amostras foram filtradas em um cadinho de vidro sinterizado com uma camada de amianto e depois colocadas na estufa à temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2$ , até peso constante, para posterior pesagem.

A composição elementar da maravalha foi determinada no Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal de Lavras – MG, como também o poder calorífico, o qual foi obtido de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1983).

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 Análises dos resíduos de madeira

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de umidade (U), volume (V), densidade a granel (D), teor de cinzas (TCz) e o poder calorífico superior (PCS) encontrados para as respectivas amostras, submetidas ao teste de Tukey a nível de 5% de significância.

Tabela 3 – Valores médios de umidade, volume, densidade a granel, teor de cinzas e poder calorífico para as amostras de maravalha

Identificação	U (%)	V (m <sup>3</sup> )	D (Kg.m <sup>-3</sup> )	TCz (%)	PCS (cal.g <sup>-1</sup> )*
<b>A</b>	10,57 <b>b</b> (0,30)**	0,64	73,86 <b>bc</b> (8,00)	0,47 <b>c</b> (0,15)	4.716,00 (77,67)
<b>B</b>	10,77 <b>b</b> (0,16)	0,70	73,31 <b>c</b> (11,72)	1,07 <b>b</b> (0,17)	4.714,67 (18,01)
<b>C</b>	10,61 <b>b</b> (0,22)	0,90	63,91 <b>cd</b> (5,24)	0,81 <b>bc</b> (0,03)	4.679,67 (4,51)
<b>D</b>	11,61 <b>b</b> (0,13)	0,19	52,52 <b>d</b> (4,56)	1,00 <b>b</b> (0,06)	4.797,00 (248,15)
<b>E</b>	11,95 <b>b</b> (0,18)	0,32	94,90 <b>a</b> (2,89)	2,18 <b>a</b> (0,24)	4.659,67 (14,47)
<b>F</b>	11,42 <b>b</b> (0,11)	0,83	79,00 <b>abc</b> (3,51)	1,03 <b>b</b> (0,04)	4.649,67 (157,89)
<b>G</b>	12,00 <b>b</b> (0,44)	1,15	90,84 <b>ab</b> (1,63)	0,71 <b>bc</b> (0,07)	4.714,33 (13,87)
<b>H</b>	19,54 <b>a</b> (2,77)	0,77	65,79 <b>cd</b> (4,70)	0,51 <b>c</b> (0,08)	4.635,67 (176,90)

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

\* Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ )

\*\* Desvio padrão

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Tabela 3, a única amostra que diferiu entre si para os valores de umidade, no nível de 5% de significância foi a amostra identificada com a letra H, que apresentou o maior valor (19,54%), isso ocorreu por causa da amostra ter sido coletada logo em seguida em que a madeira foi usinada, ou seja, esse material ficou exposto pouco tempo ao ambiente, ocasionando uma

menor perda de umidade. No entanto as outras amostras apresentaram comportamento similar, fato ocorrido, por causa da maravalha ter sido coletada em um local coberto e com boa circulação de ar.

Os valores encontrados para umidade foram menores que os obtidos por Brand et al. (2004), que estudaram a umidade dos resíduos de eucalipto e de pinus armazenados em diferentes períodos de tempo, seus valores variaram de 10% até 60%, tendo concluído que esta umidade influenciou negativamente na produção de calor por unidade de massa.

Barroso, Vale e Xavier (2004) também encontraram maiores valores de umidade para as sete espécies que estudaram, o menor resultado obtido foi de 18,97% para a madeira mangueira (*Mangifera indica*), a maior foi 49,68% para o pau-d'água (*Dracaena fragrans*), tendo uma média de 37,96% de umidade.

A umidade da madeira é uma característica importante que influencia negativamente na produção de calor por unidade de massa do material. Para que a madeira esteja em boas condições para produção de energia, deve estar com umidade abaixo de 25% (FARIANHAQUE, 1981; citado por VALE et al., 2000). Desta forma, as amostras do presente estudo apresentaram valores de umidades propícias para produção de energia.

O volume de maravalha variou de 0,19 a 1,15 m<sup>3</sup>, no entanto os baixos valores encontrados para as amostras identificadas com as letras E e F, podem ser explicado pelo fato da indisponibilidade do material na serraria, o que ocasionou no baixo volume. A quantidade mensal de maravalha foi em média 18,30 m<sup>3</sup>.

Dentre os valores encontrados, a amostra identificada como a letra D foi a que apresentou o menor valor de densidade a granel, sendo o valor de 52,52 kg.m<sup>-3</sup>, já a amostra identificada como a letra E, foi a que apresentou o maior valor de densidade a granel, cujo valor foi de 94,90 Kg.m<sup>-3</sup>.

Os valores de densidade encontrado no presente estudo, foram inferiores aos obtidas por Hillig et al. (2009), pois, os valores médios de densidade a granel encontrados em seus estudos foram: serragem com 223 kg.m<sup>-3</sup>; serragem de madeira serrada com 216 kg.m<sup>-3</sup>. Possivelmente estes valores superiores de densidade a granel podem ser explicados pela utilização de serragem a qual possui uma menor granulometria, ocupando um maior espaço na caixa utilizada para determinação dos valores de densidade a granel, acarretando maior massa, e

conseqüentemente uma maior densidade. Ribeiro e Machado (2005), também encontraram valores superiores para maravalhas, sendo de  $130 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Os baixos resultados encontrados referentes à densidade a granel no presente estudo podem ser explicados pelo fato da heterogeneidade do material e características dos resíduos, uma vez que quanto maior a granulometria do material, maior será os espaços vazios dentro do recipiente, ocasionado assim, uma menor massa, e conseqüentemente uma menor densidade.

As amostras de resíduos do presente estudo encontram-se adequadas para fabricação de briquetes, pois os valores encontrados de densidade foram relativamente baixos, o que de acordo com Quirino (2010) é o ideal para ser compactado.

As amostras diferiram entre si a nível de 5% de significância para os valores de teor de cinzas. A utilização de uma mescla de diferentes espécies com proporções indeterminadas para realização da análise, explica o fato das amostras terem variado significativamente. Porém, todos os resultados encontrados para o teor de cinzas foram baixos, em média 0,97%.

Ribeiro e Machado (2005) obtiveram valores superiores de teor de cinzas dos resíduos de lascas, cascas e maravalha da madeira de *Eucalyptus* spp. Em que foram submetidas à carbonização de 400 e 600°C, os valores encontrados foram de 1,2 e 1,6% para as lascas, 2,0 e 2,1% para as cascas, e para maravalha foi de 1,6 e 1,9%. Pinheiro, Rendeiro e Pinho (2004) também encontraram valores diferentes, em que os resultados do teor de cinzas dos resíduos variaram de 0 a 5%.

Os valores encontrados pelos autores são altos, porém ainda estão dentro da faixa de teor de cinzas citado por Pereira et al. (2000), que comenta que a madeira é composta de 0,5 a 5% de cinzas. Entretanto, procura-se obter a menor quantidade possível de mineral, pelo fato de acarretar uma série de problemas. Nota-se então, que os valores obtidos na serraria de Jerônimo Monteiro, são aptos para produção de energia, pelo fato de apresentar um menor teor de cinzas.

Os valores de poder calorífico superior foram iguais estatisticamente para todas as amostras pelo teste F. Verifica-se que os valores encontrados foram maiores que os obtidos por Brand et al. (2004) para serragem a 10 % de umidade, tendo o valor energético de  $3800 \text{ cal.g}^{-1}$ . Pinheiro, Rendeiro e Pinho (2004) obtiveram valores entre 4000 a  $5000 \text{ cal.g}^{-1}$ , como os valores do poder calorífico do

presente estudo foram similares e altos, torna a maravalha mais adequada para produção de energia.

## 4.2 Composição química dos resíduos

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios das análises químicas realizado nas amostras de maravalha, as quais foram submetidas ao teste de Tukey a nível de 5% de significância.

Tabela 4 – Valores médios de lignina, extrativos e holocelulose para as amostras de maravalha

Identificação	Lignina (%)	Holocelulose (%)	Extrativo (%)
<b>A</b>	32,25 <b>b</b> (0,38)**	58,51 <b>ab</b> (2,46)	9,24 <b>a</b> (2,19)
<b>B</b>	34,24 <b>ab</b> (0,82)	57,19 <b>b</b> (1,57)	8,57 <b>ab</b> (0,76)
<b>C</b>	33,39 <b>ab</b> (0,44)	58,68 <b>ab</b> (1,17)	7,93 <b>ab</b> (1,34)
<b>D</b>	32,36 <b>b</b> (0,73)	60,61 <b>ab</b> (1,27)	6,77 <b>ab</b> (1,03)
<b>E</b>	34,54 <b>ab</b> (1,47)	62,26 <b>a</b> (1,97)	3,20 <b>c</b> (0,54)
<b>F</b>	33,57 <b>ab</b> (1,01)	60,75 <b>ab</b> (1,78)	5,67 <b>bc</b> (0,79)
<b>G</b>	33,77 <b>ab</b> (0,26)	60,18 <b>ab</b> (0,66)	6,05 <b>abc</b> (0,44)
<b>H</b>	35,31 <b>a</b> (1,04)	58,73 <b>ab</b> (0,49)	5,96 <b>abc</b> (1,50)

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

\*\* Desvio padrão

Fonte: Elaborado pelo autor.

A amostra identificada com a letra H foi a que apresentou maior valor de lignina (35,25%), o menor valor (32,25%) foi verificado na amostra A, entretanto, todos os valores foram relativamente altos, pois, segundo Klock et al. (2005) a madeira é composta de aproximadamente 30% de lignina.

Couto (2009) obteve valores inferiores de lignina para a serragem de *Eucalyptus* sp., sendo o valor de 31,1%. Paula et al. (2010) também obtiveram valores inferiores de lignina para os resíduos de serragem e de maravalha (20,88% e 20,62% respectivamente). Desta forma, os valores encontrados no presente estudo, são aptos para geração de energia. Pois, conforme Pimenta e Barcellos (2000) a madeira com alto teor de lignina, gera um carvão com maior poder calorífico e apresenta maior rendimento gravimétrico.

Para os valores de holocelulose como observado na Tabela 4 a amostra identificada com a letra B foi a que apresentou o menor valor, sendo 57,19%, já a amostra identificada com a letra E apresentou o maior valor (62,26%). Paula (2010) encontrou valores superiores de holocelulose, tanto para serragem (68,57%) como para maravalha (73,65%). Couto (2009) também obteve valores superiores de holocelulose para a serragem de *Eucalyptus* sp. (65,4%).

Como poder ser observado na Tabela 5, verifica-se que as amostras diferiram entre si a nível de 5% de significância para os valores de extrativos, ocorrendo valores variados, de 3,20% a 9,24%, notando assim, que havia na serraria materiais heterogêneos. Os valores da amostra identificada com a letra A, foram próximos dos encontrados por Paula et al. (2010), que obtiveram para serragem de madeira o valor de 9,37% de extrativo, os mesmos autores encontraram 5,60% de extrativo para maravalha, resultado próximo aos valores das amostras identificadas com a letra F, G e H.

Segundo Klock et al. (2005), a madeira seca pode conter em torno de 3 a 10% de extrativos, os quais apresentam em sua composição os fenóis, que contribuem positivamente para o poder calorífico. Os valores encontrados no presente estudo estão dentro da faixa de teor de extrativo citado por este autor, sendo os valores relativamente altos, visto isso, as amostras estão adequadas para produção de energia, já que os extrativos contribuíram positivamente para a produção de energia por unidade de massa.

### 4.3 Análise elementar da maravalha

Os valores da análise elementar para as respectivas amostras estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores médios de nitrogênio, carbono, hidrogênio, enxofre, oxigênio, relação carbono/hidrogênio e carbono/nitrogênio para as amostras de maravalha

Identificação	N (%)	C (%)*	H (%)*	S (%)	O (%)	C/H*	C/N
<b>A</b>	0,19 <b>b</b> (0,03)**	48,34 (0,40)	6,10 (0,05)	0,01 <b>b</b> (0,01)	45,37 <b>a</b> (0,45)	7,92 (0,05)	264,53 <b>cd</b> (48,49)
<b>B</b>	0,16 <b>bc</b> (0,02)	46,12 (2,66)	5,93 (0,27)	0,01 <b>b</b> (0,01)	47,79 <b>a</b> (2,85)	7,78 (0,31)	286,53 <b>bcd</b> (47,10)
<b>C</b>	0,14 <b>bcd</b> (0,02)	47,83 (0,96)	6,06 (0,06)	0,00 <b>b</b> (0,00)	45,98 <b>a</b> (1,04)	7,90 (0,07)	354,50 <b>bc</b> (44,79)
<b>D</b>	0,11 <b>cd</b> (0,03)	48,17 (0,41)	6,05 (0,06)	0,01 <b>b</b> (0,00)	45,66 <b>a</b> (0,49)	7,96 (0,03)	453,14 <b>ab</b> (95,12)
<b>E</b>	0,35 <b>a</b> (0,03)	46,18 (1,29)	5,94 (0,17)	0,05 <b>a</b> (0,01)	47,49 <b>a</b> (1,43)	7,77 (0,01)	133,95 <b>d</b> (13,59)
<b>F</b>	0,12 <b>cd</b> (0,02)	48,92 (1,22)	6,13 (0,18)	0,01 <b>b</b> (0,00)	44,82 <b>ab</b> (1,39)	7,98 (0,03)	424,67 <b>bc</b> (61,57)
<b>G</b>	0,08 <b>d</b> (0,01)	47,90 (0,62)	5,96 (0,60)	0,00 <b>b</b> (0,00)	46,07 <b>a</b> (0,68)	8,04 (0,05)	627,02 <b>a</b> (45,11)
<b>H</b>	0,12 <b>bcd</b> (0,03)	47,54 (0,98)	5,97 (0,12)	0,00 <b>b</b> (0,00)	41,45 <b>b</b> (0,85)	7,97 (0,08)	402,08 <b>bc</b> (101,27)

N: nitrogênio; C: carbono; H: hidrogênio; S: enxofre; O: oxigênio; C/H: relação carbono e hidrogênio; C/N: relação carbono e nitrogênio.

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

\* Não significativo pelo teste de F ( $p > 0,05$ )

\*\* Desvio padrão

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Tabela 5 os valores dos teores de nitrogênio variaram significativamente a nível de 5% de significância pelo teste de Tukey, o menor valor de 0,07% e o maior de 0,38%. Segundo Klock et al. (2005), o valor máximo de nitrogênio presente na madeira é de 0,1%, observando assim, 83,3% dos resultados estão acima desse valor. Couto (2009) obteve um alto valor de nitrogênio de 0,13%. Vale ressaltar que o nitrogênio é prejudicial ao ser humano, por causa da liberação de óxidos de nitrogênio.



Os valores dos teores de carbono foram iguais estatisticamente para todas as amostras pelo teste F. Porém as amostras apresentaram valores relativamente altos, de acordo com Pimenta e Barcellos (2000) a madeira é composta por aproximadamente 50% de carbono, notando que os valores estão próximos aos citados por esses autores.

Couto (2009) obteve 45,5% de carbono para a serragem de *Eucalyptus* sp. Portanto, nota-se que todas as amostras coletadas possuem valores superiores. Em função disto, os valores do presente estudo estão propícios para geração de energia, já que o carbono contribui positivamente para o poder calorífico.

Os valores de hidrogênio não diferiram entre si a nível de 5% de significância pelo teste F, sendo próximos dos obtidos por Couto (2009), que encontrou o valor de 6,2% de hidrogênio para a da serragem de *Eucalyptus* sp..

Para os valores de enxofre, a amostra identificada pela letra E foi a única que diferiu a nível de 5% de significância no teste de Tukey, no entanto, os valores foram baixos, inferiores a 0,05%. Couto (2009), obteve valores superiores (0,07%) para resíduos de *Eucalyptus* sp..

As amostras identificadas pelas letras F e H, foram às únicas que diferiram a nível de 5% de significância para os valores de oxigênio, as quais apresentaram os menores valores de oxigênio. Todas as amostras apresentaram valores inferiores de oxigênio, quando comparado com o resultado obtido para a serragem do *Eucalyptus* sp encontrado por Couto (2009), sendo esse valor de 48,1%.

Os valores da relação carbono/hidrogênio como pode ser observado na Tabela 6, foram iguais estatisticamente para todas as amostras pelo teste F. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Couto (2009), para a serragem do *Eucalyptus* sp. (7,34). Santana (2009) também obteve valores inferiores, cujo maior resultado da relação carbono/hidrogênio do clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* foi de 7,44. Vale ressaltar que quanto maior a relação de carbono e hidrogênio, mais energético será o material.

A relação de carbono/nitrogênio variou significativamente entre as amostras a nível de 5% de significância, em que o menor valor foi de 133,95 e o maior de 627,02. Alguns valores foram próximos dos obtidos por Santana (2009), tendo seus resultados variando de 374,77 a 543,67. Os baixos valores encontrados para a relação indicam que o material é mais adequado para produção de energia, pois,

segundo Schneider (2005), quanto menor a relação carbono/nitrogênio, mais rápido o dióxido de carbono será emitido para o ambiente.

## 5 CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, conclui-se que a maravalha oriunda do processamento misto da madeira gerada em uma serraria do Município de Jerônimo Monteiro/ES, é adequado à produção energética. Isso se deve sobretudo:

- baixo teor de cinzas encontrados nas amostras;
- reduzida densidade a granel da maravalha;
- elevado teor de carbono presente no material;
- reduzido teor de enxofre e oxigênio;
- alto valor para os teores de lignina e extrativos;
- baixa umidade;
- alto poder calorífico do material;
- volume considerável de resíduo de maravalha gerado por mês pela serraria.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**. Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922**. Carvão vegetal - ensaios físicos determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas técnicas**. São Paulo: ABTCP, sd.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. **Normas técnicas**. São Paulo: ABTCP, 1977.

BARCELLOS, D. C. et al. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Revista Biomassa & Energia**. 2005, v.12, n. 2, p. 141-158.

BARROSO, R. A. et al. Consumo de biomassa energética e produção de resíduos de madeira no Distrito Federal. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Garça, ano 8, n. 13, 2009. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal13/pages/artigos/AnoVIII-N13-art02.pdf>>. Acesso em: 25 de abr. 2010.

BRAND, M. A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, p. 247-259, 2002. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/viewFile/2288/1911>>. Acesso em: 25 de abr. 2010.

BRAND, M.A. et al. **Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento**. 2004. TRACTEBEL ENERGIA. Disponível em:<[http://www.tractebelenergia.com.br/uploads/13\\_1.pdf](http://www.tractebelenergia.com.br/uploads/13_1.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2010.

CASSILHA, A. C. et al. Indústria moveleiro e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia**, Curitiba, v. 8, p. 209 – 228, 2004.

COUTO, G. M. do. **Utilização da serragem de *Eucalytus* sp. na preparação de carvões ativados**. 2009. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.

FEITOSA, B. C. de. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. **Revista da Madeira**, n.114, jun. 2008.

FERREIRA, T. S. et al. Influência do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de árvores de *Pinus taeda*. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2007, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Disponível em:

<<http://www.solumad.com.br/artigos/Influencia%20do%20teor%20de%20umidade%20no%20poder%20calorifico%20em%20diferentes%20idades%20e%20componenes%20de%20Pinus%20taed.pdf>>. Acesso em 13 out. 2010.

GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Piracicaba, n. 11, p. 53-65, 1975.

GOMES, J. I; SAMPAIO, S. S. **Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do Estado do Pará**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pará, 2004.

GOMES, I. B. S.; LEMOS, J. C.; TRINDADE, R. P. **Estudo sobre a utilização de resíduos de podas de laranjeiras para a geração de energia por meio da fabricação de carvão: análise do poder calorífico e densidade básica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pará. Disponível em:<[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/agroenergia\\_2008/Agroener/trabalhos/carvao/Igor\\_Gomes.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/agroenergia_2008/Agroener/trabalhos/carvao/Igor_Gomes.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2010.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento de madeira**. Bauru: SP, 242 p., 2000.

HILLIG, E. et al. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Produção**, São Paulo, v. 19, n. 2, 2009.

JUNIOR, F. T. A. et al., Utilização de biomassa para briquetagem como fonte de energia alternativa e a disponibilidade deste recurso na região do Cariri-CE. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO, 23, 2003, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2003.

KLOCK, U. et. al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.

LIMA, E. G. de., SILVA, D. A. da. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Araçongas – PR. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 105-116, 2005.

MADEIRA: Briquetes são alternativas para aproveitamento energético da madeira. Remade, **Mundo sustentável**, 2008. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/noticia.php?num=6857&title=Briquetes%20s%20alternativa%20para%20aproveitamento%20energ%20da%20madeira>>. Acesso em: 19 abr. 2010.

MOTA, E. G. da. **Utilização do linter hidrolisado como fonte de energia**. 2009. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

OBERNBERGER, I.; BRUNNER, T.; BARNTHALER, G. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass & Bioenergy**, Amsterdam, v. 30, n. 11, p. 973-982, 2005.

PAULA, J. C. M. de. **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. 2006. 48f. Monografia (Pós-graduação *Lato Sensu* em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

PAULA, L. E. R. da. Caracterização química de resíduos lignocelulósicos visando a produção de energia. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2010.

PEREIRA, J. C. D. et al., **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pará, 2000.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. **Curso de atualização e carvão vegetal**. Centro de Produções técnicas – CPT, 2000.76p.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G.; PINHO, J. D. Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. **Renabio – Rede Nacional de Biomassa para Energia**. Viçosa, v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos ligno – celulósicos**. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/briquetagem.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. **IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em: <[www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf](http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2010.

QUIRINO, W. F. **Metodologia para analisar a viabilidade de usinas para compactação de resíduos**. Disponível em: <[www.lippel.com.br/.../3-briquetagem.html?...19%3Ametodologia...viabilidade-de-usinas-para-compactacao-de-residuos](http://www.lippel.com.br/.../3-briquetagem.html?...19%3Ametodologia...viabilidade-de-usinas-para-compactacao-de-residuos)>. Acesso em 25 out. 2010.

Resíduo: fonte de energia. **REFERÊNCIA**, v. 87, 2009. Disponível em :<[http://www.revistareferencia.com.br/index2.php?principal=ver\\_conteudo.php&uid=237&edicao2=47](http://www.revistareferencia.com.br/index2.php?principal=ver_conteudo.php&uid=237&edicao2=47)>. Acesso em: 26 mar. 2010.

RIBEIRO, A. S., MACHADO, A. A. de. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTANA, W. M. **Efeito da idade e da classe diamétrica nas propriedades da madeira de Eucalyptus grandis e E. urophylla**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SCHNEIDER, V. E. et al. Situação ambiental da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento dos resíduos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. p. 1-9.

SCHNEIDER, P.R. et. al. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, 2005.

SILVA, J. C. de., OLIVEIRA, J. T. S. da. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, 2003.

SETOR FLORESTAL: MADEIRA LEGAL – Uma Visão do Setor Florestal Brasileiro. Remade. Disponível em: <  
<http://www.remade.com.br/br/noticia.php?num=5992&title=MADEIRA%20LEGAL%200%E2%80%93%20Uma%20Vis%C3%A3o%20do%20Setor%20Florestal%20Brasileiro> > . Acesso em: 08 mar. 2010.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI Test Methods**, Atlanta: Tappi Press, 1998.

TEIXEIRA, M. G; CÉSAR, S. F. Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da ecologia industrial. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira, 2006.

TRUGILHO, P. F; LIMA, J. C; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.2, n. 1, 2009.

VALE, A. T. do., et. al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferente níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.