



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia  
para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon**

Osmir Saiter

**Orientadora:**  
Natália Dias de Souza

Seropédica, RJ  
Dezembro/2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia  
para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon**

Osmir Saiter

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Orientadora: Natália Dias de Souza

Seropédica, RJ  
Dezembro/2008




**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS COMO FONTE DE  
ENERGIA PARA A SECAGEM DE GRÃOS DE *Coffea canephora* var. Conilon**

Seropédica, 16 de dezembro de 2008

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
PROF<sup>a</sup> MSc. NATÁLIA DIAS DE SOUZA  
ORIENTADORA  
DPF/IF/UFRRJ

  
\_\_\_\_\_  
PROF. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO  
Membro Titular  
DPF/IF/UFRRJ

  
\_\_\_\_\_  
DESIANE AMARAL DE DEUS  
Membro Titular  
DPF/IF/UFRRJ

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais

A minha família

A minha namorada Eva Adriana

Ao amigo José Vitor Loss Gambet (*in memorium*), que partiu dia 13/12/2008

Aos companheiros e amigos

Ao alojamento M4 – Quarto 427

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças para suportar dia após dia, esta longa caminhada e por fazer-me acreditar que este dia seria possível.

Aos meus pais, Otávio e Ideuza, que se doaram inteiros e renunciaram aos seus sonhos, e que se dedicaram com amor para a formação do meu caráter. Amo vocês.

Aos meus irmãos Sidnei, Odirlei e Eric pela força e incentivo em todos os momentos.

À minha querida namorada, Eva Adriana por sempre estar ao meu lado me incentivando com muito amor e carinho em todos os momentos.

Aos amigos que ao longo da vida se fizeram presentes nesta longa caminhada e que sempre estarão na minha memória e em meu coração.

À minha orientadora Natália Dias de Souza que aceitou o desafio, acreditou em meu potencial e contribuiu de forma significativa com os seus conhecimentos para a conclusão deste trabalho.

Ao laboratorista José Carlos pela ajuda no laboratório e pelas vezes que levantava no meio da noite para averiguar o alarme do laboratório disparado por causa dos insetos que entravam pela janela aberta que “alguém” sempre deixava aberta.

Aos professores que amando a profissão a ela dedicam grande parte de suas vidas, principalmente a aqueles que participaram diretamente da minha formação.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que foi a instituição que me recebeu e formou o meu caráter profissional.

## **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon**

### **RESUMO**

Este trabalho discute a respeito do aproveitamento dos resíduos produzidos no beneficiamento de grãos de café e no processamento mecânico da madeira, sugerindo a utilização deste para substituição da lenha de eucalipto, utilizada para geração de calor (energia) na secagem de grãos de café, oferecendo assim uma alternativa de uso do material que antes era descartado pelas empresas e que agora possa ser utilizado como fonte alternativa para suprir as necessidades energéticas na região, diminuindo assim os problemas ambientais relacionados à contaminação do solo, ar e água, através do descarte inadequado de resíduos agrícolas e florestais, contribuindo para economia de energia e propiciando um uso mais nobre para a utilização da madeira. Dentro deste contexto, foi utilizado neste trabalho, o método da destilação seca dos resíduos lignocelulósicos através da pirólise e a análise química imediata do carvão vegetal para avaliação do potencial energético de dois resíduos gerados em abundância, a casca de grãos de café que é obtida no beneficiamento do grão e serragem de esquadrias resultantes do processamento mecânico da madeira.

**Palavras-chave:** Resíduos lignocelulósicos, pirólise, secagem de grãos.

**Use of waste agricultural and forestry as a source of energy for drying grain of *Coffea canephora* var. Conilon**

**ABSTRACT**

This article discusses about the recovery of waste produced in the improvement of coffee grounds and the mechanical wood processing, suggesting its use in replacement of eucalyptus firewood used to generate heat (energy) in the process of drying coffee beans, offering an alternative use to this material that before, was discarded by businesses and which now can be used as an alternative source to meet energy needs in the region, thus reducing the environmental problems related to soil, air and water contamination through improper disposal of agricultural and forestry waste, contributing to energy saving and providing a more noble use for wood. Within this context were used, the method of dry distillation of lignocelluloses waste through pyrolysis and chemical analysis of charcoal for immediate assessment of the energy potential of two types of waste generated in abundance, the bark of coffee beans obtained in the Beneficiation the of grain residue and milling of esquadrias result of the mechanical processing of wood.

**Keywords: Waste lignocelluloses, pyrolysis, drying coffee beans.**

## SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1. Resíduos Lignocelulósicos .....	2
2.2. Pirólise dos materiais Lignocelulósicos .....	4
<b>3. OBJETIVO</b> .....	5
3.1. Objetivos Gerais .....	5
3.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	5
4.1. Matérias – Primas .....	6
4.2. Análise Termo-Gravimétrica De Materiais Lignocelulósicos - Destilação Seca .....	7
4.2.1. Rendimentos gravimétricos .....	8
4.3. Análise Química Imediata do Carvão Vegetal .....	9
4.3.1. Teor de materiais voláteis (TMV) .....	10
4.3.2. Teor de cinzas (TCZ) .....	11
4.3.3. Teor de carbono fixo (TCF) .....	11
4.4. Rendimento em Carbono Fixo (RCF) .....	12
4.5. Poder Calorífico Superior .....	12
4.6. Análise Estatística. ....	13
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	13
5.1. Rendimentos Gravimétricos. ....	13
5.2. Teores Médios da Análise Química .....	14
5.3. Estimativa do Poder Calorífico Superior .....	15
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	16
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	17



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cascas de grãos de <i>Coffea canephora</i> var. conilon. ....	6
<b>Figura 2.</b> Resíduo de serraria.....	6
<b>Figura 3.</b> Lenho de <i>E. grandis</i> cavaqueados .....	6
<b>Figura 4.</b> Estufa utilizada na secagem a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .....	7
<b>Figura 5.</b> Cadinho metálico .....	8
<b>Figura 6.</b> Sistema laboratorial usado para a destilação seca dos materiais vegetais. ....	9
<b>Figura 7.</b> Maceração da amostra de carvão vegetal.....	9
<b>Figura 8.</b> Conjunto de peneiras sobrepostas.....	10
<b>Figura 9.</b> Mufla utilizada para análise química imediata do carvão vegetal. ....	10
<b>Figura 10.</b> Dessecador utilizado para esfriamento das amostras.....	11

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tratamentos avaliados no decorrer das análises termogravimétricas dos lenhos de <i>E. grandis</i> , serragem e casca de grãos de café destilado até temperaturas máximas de 350 e 550°C.....	8
<b>Tabela 2.</b> Valores médios dos rendimentos em carvão vegetal (RCV), gases condensáveis (RGC) e gases incondensáveis (RGI).....	13
<b>Tabela 3.</b> Valores médios dos teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ), de carbono fixo (TCF) e rendimento em carbono fixo (RCF) dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados .....	14
<b>Tabela 4.</b> Valores médios dos poderes caloríficos superior (PCS) do lenho de eucalipto e dos resíduos de casca de café ( <i>Coffea canephora</i> var. conillon) e serragem dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados.....	16

## 1. INTRODUÇÃO

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira e pela agricultura é um problema existente em praticamente todas as regiões do Brasil. Embora as empresas modernas incluam em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das empresas que produzem ainda estão despreparadas para o descarte apropriado de seus rejeitos.

No Brasil, ocorrem vários problemas ambientais relacionados à contaminação dos solos e lençóis freáticos devido ao acúmulo e descarte inadequado de resíduos florestais e agrícolas. De modo geral esses resíduos são queimados ou dispostos em aterros inadequados acarretando o desprendimento de chumbo provocando danos ao ambiente, principalmente em córregos, rios e mananciais.

Existem várias opções para o aproveitamento dos resíduos, como exemplo pode-se citar a utilização como coberturas em granjas, indústrias de painéis de madeira reconstituída, compostagem, geração de energia pela queima direta ou transformação dos resíduos em briquetes, entre outras possibilidades.

Com o reaproveitamento dos resíduos, como na pirólise da matéria-prima, o que era resíduo se transformará em energia, ajudando assim na preservação da natureza e na economia de energia.

O termo resíduo por muitas vezes é associado a problema, pois geralmente sua disposição ou utilização adequada gera custos altos que muitas vezes se quer evitar. Porém, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das possibilidades de uso deste material poderá gerar uma alternativa de uso que viabilizará o seu manuseio.

Os resíduos de uma exploração agrícola são os objetos e materiais que foram utilizados na exploração ou resultam de operações agrícolas, para os quais não se encontra mais utilidade, agora ou no futuro, e dos quais o agricultor quer se desfazer.

O Brasil vislumbra-se de uma tendência estratégica do crescimento da energia proveniente da biomassa como substituta do petróleo. Levando-se em conta a grande extensão do território nacional e a aptidão brasileira para a silvicultura, aliadas à possibilidade de utilização de resíduos florestais e agrícolas, têm as condições ideais para essa mudança. Assim, os resíduos de origem florestal e agrícola formam uma categoria interessante de biomassa que pode ser explorada.

A serragem de madeira e as cascas dos grãos do café no Brasil, constituem resíduos de baixo custo, renováveis e às vezes mal aproveitados, são ambientalmente corretos e potencialmente capazes de gerar calor, vapor e energia elétrica, podendo, dessa forma contribuir como combustível alternativo na geração de energia.

O aproveitamento de resíduos da industrialização da madeira pode contribuir para a racionalização dos recursos florestais, bem como para gerar uma nova alternativa econômica para as empresas, aumentando a geração de renda e de novos empregos.

A queima direta de resíduos agrícolas, florestais e das indústrias de transformação agro-alimentar e da madeira apresentam diversas vantagens. Dentre elas a conversão da biomassa residual e geração de energia a partir de recursos renováveis e viabilidade econômica. Essa tecnologia apresenta baixos custos de aquisição dos resíduos e de operação e manutenção devido à baixa corrosão dos equipamentos (como caldeiras e fornos). Ela também contribui para reduzir o volume de lixo gerado, acarretando na diminuição da área necessária para a sua disposição.

O Estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil – com estimativa para 2008 de 10,3 milhões de sacas que equivale a 618 mil toneladas de café

beneficiado – e o primeiro de *Coffea connephora* var. Conilon (7,5 milhões de sacas). A produção capixaba de café representa mais de 25% do total nacional, é cultivado em uma área de aproximadamente 300 mil hectares de lavouras produtivas sendo produzido em 40 mil propriedades abrangendo 64 dos 78 municípios do estado, envolvendo 78 mil famílias rurais, ocupando mais de 220 mil capixabas, somente no setor de produção é a atividade que mais gera empregos no Estado. Se focar a produção de café arábica, o Estado fica em 4º lugar no ranking nacional, atrás apenas de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, respondendo por 8% da produção nacional de arábica. A cafeicultura é responsável por 43,6% do Valor Bruto da Produção (VBP) Agropecuária do Espírito Santo (Incaper, 2007).

Atualmente quase toda essa produção é seca de forma artificial com uso do calor, onde a fonte de energia utilizada para secar os grãos é a lenha, sendo mais utilizada a lenha de eucalipto.

A madeira é um insumo importante e que, devido à ampliação dos seus usos e à sua escassez nas regiões tradicionalmente consumidoras, vem valorizando-se ao longo das últimas décadas. Todavia, a despeito destes fatores, a utilização integral da madeira ainda não é uma realidade em nenhuma das suas principais utilizações. Diante disso e também da crescente preocupação ambiental com a destinação final dos resíduos, se torna muito viável economicamente e ambientalmente a utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem dos grãos de café, reduzindo assim a utilização da lenha do eucalipto que poderá apresentar outras formas de utilização mais nobres.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Resíduos Lignocelulósicos

Resíduo é qualquer material considerado inútil, supérfluo, e/ou sem valor, gerado pela atividade humana, e a qual precisa ser eliminada. É qualquer material cujo proprietário elimina, deseja eliminar, ou necessita eliminar (Wikipédia).

Para Quirino (2003), resíduo é tudo aquilo que resta de um processo de exploração ou produção, de transformação ou utilização. Sendo também considerado toda substância, material ou produto destinado por seu proprietário ao abandono.

Os resíduos definidos pela Norma Brasileira 10.004, são aqueles:

*“(...) resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT,1987).*

Resíduos lignocelulósicos são aqueles que apresentam na sua constituição a lignina e a celulose sendo, em sua maior parte, de origem vegetal, tais como: rejeitos oriundos da madeira ou da indústria madeireira, até mesmo móveis velhos e restos de madeira de demolições, resíduos de culturas agrícolas ou de beneficiamento de produtos agrícolas, postes, estacas; dormentes, páletes e embalagens em fim de vida, etc (QUIRINO, 2003).

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grandes quantidades de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária. Nas serrarias e nas marcenarias, após o processamento mecânico da madeira, é comum o descarte de grandes volumes de materiais como a serragem, resíduos de fresa, pó-de-serra, as maravalhas, as cascas, os pequenos fragmentos, as costaneiras, as lascas e os topos.

Segundo Uhl et al., 1996, o aumento da eficiência do processo industrial da madeira, também teria efeito direto na quantidade da área florestada necessária para manter os atuais níveis de produção. Por exemplo, apenas 35% de cada tora são transformados em produto serrado, mas essa eficiência poderia ser aumentada para 55% através de melhoramento simples na manutenção de máquinas e no treinamento de mão-de-obra (SECTAM, 2002). De acordo com estes dados, 65% da tora é desperdiçada, transformando-se em resíduo não aproveitado pela indústria.

A Legislação Brasileira aponta a auto-responsabilidade das empresas na remoção, estocagem e tratamento de resíduos gerados pelos processos de produção, a partir de procedimentos adequados para a conservação do meio ambiente (LEEUEWSTEIN, 2001). De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997, a própria atividade poluidora deverá promover o tratamento e disposição final de seus resíduos, logo, o empreendimento não deverá colocar dificuldades para realizar determinadas ações, pois é seu dever fazê-las. Inicialmente as serrarias deverão identificar empreendimentos que utilizem, ou possam vir a utilizar, resíduo de madeira em seus processos produtivos como matéria-prima.

Carvalho & Câmara (2002) mencionam que a indústria brasileira produziu no ano de 2000 cerca de 166,31 milhões de metros cúbicos de madeira, de reflorestamento ou nativa, onde pelo menos a metade deste volume foi transformada em resíduo.

O aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado problemas como o crescimento no consumo da matéria-prima, em um momento que o mercado apresenta diminuição de oferta da mesma, além da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que, na maioria das vezes, não têm utilização na indústria onde os mesmos foram gerados. Aliado a isto, a disponibilização dos resíduos, sem uma destinação adequada, gera graves problemas ambientais como: assoreamento e poluição dos rios, poluição do ar devido à queima para eliminação deste material que poderia ser destinado para outros fins e o desperdício de matéria-prima que entra na indústria (BRAND et al., 2002).

Segundo Quirino (2003) um resíduo lignocelulósico pode ser reciclado e reutilizado como matéria-prima em um processo diferente daquele de origem como, por exemplo, ser transformado em partículas e constituir-se em painéis à base de madeira. Pode ser também utilizado energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em grupos geradores ou termelétricas. Outro aproveitamento desse resíduo é sob a forma de combustível sólido, como o carvão vegetal que é utilizado nas indústrias siderúrgicas como termo-redutor ou como um carvão ativo. O carvão também pode ser gaseificado, transformando-se em um combustível gasoso ou utilizado como gás de síntese.

No Brasil, a proporção da energia total consumida é cerca de 35% de origem hídrica e 25% de origem em biomassa, significando que os recursos renováveis suprem algo em torno de 2/3 dos requisitos energéticos do País. Em condições favoráveis os resíduos podem contribuir de maneira significativa para com a produção de energia elétrica. O pesquisador Hall (1991), através de seus trabalhos, estima que com a recuperação de um terço dos resíduos disponíveis seria possível o atendimento de 10% do consumo elétrico mundial e que com um programa de plantio de 100 milhões de hectares de culturas especialmente para esta atividade seria possível atender 30% do consumo.

Os resíduos de origem agrícola também apresentam grande potencial para serem utilizados na produção de energia, como exemplo, as palhas e cascas de frutos e cereais, os bagaços, os resíduos das podas de pomares e vinhas dentre outros.

A casca do café constitui-se numa excelente opção para substituir o carvão vegetal. Este subproduto do café tem alto potencial energético e é muito mais barato do que a madeira, o que o faz um aliado contra o desmatamento. Além disso, o uso do material diminui a poluição causada pela alta quantidade deste tipo de resíduos deixados na natureza. Segundo Kihel (1985) de 45 a 55% do grão maduro do café torna-se resíduo após beneficiamento, ou seja, uma tonelada de grão de café produz, em média, 50% de grão limpo e 50% de casca e polpa. Giomo (2006) afirma que, para café coco, com 10 a 12% de umidade, 50% é grão (endosperma) e 50% é casca mais pergaminho. Portanto, o processamento de duas toneladas de café em coco produz uma tonelada de café em grão comercial, gerando uma tonelada de resíduos.

## **2.2. Pirólise dos materiais Lignocelulósicos**

O termo pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível em outro de melhor qualidade e conteúdo energético. De acordo com Carvalho (1997), a carbonização da madeira é caracterizada pela decomposição térmica parcial da mesma em ambientes fechados, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio, envolvendo uma série de transformações físicas e químicas extremamente complexas. O mesmo autor, citando Wenzl (1970), diz que o processo de carbonização consiste em concentrar carbono e retirar oxigênio da madeira, sendo totalmente dependente da temperatura, pois maiores temperaturas resultam em maiores concentrações de carbono no resíduo. Contudo perde-se carbono junto com gases durante a retirada do oxigênio, o que resulta em um baixo rendimento em carbono. O comportamento da madeira durante a carbonização é o resultado do somatório dos comportamentos dos seus constituintes químicos, nas várias fases de aquecimento.

Na produção de carvão vegetal, Thibau (2000) afirma que o processo consiste na concentração do elemento carbono existente na madeira que libera os seus demais elementos químicos pela ação da energia térmica. Brito (1990); Andrade (1993) e Andrade e Carvalho (1998) salientam que, durante a conversão da madeira a carvão vegetal, ocorre, além da concentração de carbono, uma série de fenômenos físicos e químicos, que resultam num resíduo sólido carbonoso (carvão) e numa fração gasosa. Uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, permitindo a obtenção do chamado líquido pirolenhoso, e a outra parte resulta em gases não-condensáveis em parte inflamáveis, a exemplo do CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, dentre outros. O líquido pirolenhoso é constituído por água e por compostos químicos como os ácidos acético e fórmico, o éter, os alcóois metílico e etílico, a acetona, o alcatrão, dentre outros. De acordo com pesquisas desenvolvidas pelo projeto INFOTEC/Pró-Carvão (2001), quando diluído em água e/ou urina bovina, o líquido pirolenhoso encontra uma vasta aplicação no campo das culturas orgânica e convencional. O alcatrão, em virtude da sua composição, constituída basicamente por compostos fenólicos, creosoto e piche, pode ser utilizado como combustível, preservativo de madeira ou, ainda, como uma importante matéria-prima nas indústrias química e farmacêutica.

Carvalho (1997) citando vários autores, diz que o processo envolve várias fases que se caracterizam por regiões bastante distintas em grau de decomposição térmica. A primeira fase, denominada fase A, se inicia quando a temperatura do ambiente atinge valores em torno

de 150 °C sendo detectada na fumaça a presença de ácido acético, ácido fórmico, glioxial e gases efluentes constituídos de vapor d'água e traços de CO<sub>2</sub>. Esta fase é curta e se caracteriza basicamente pela secagem da madeira uma vez que a temperatura no interior das peças ainda é baixa.

Na fase B, observada entre 200 °C e 280 °C são gerados gases semelhantes aos da fase A, no entanto, há uma moderação na quantidade de vapor d'água e liberação de monóxido de carbono. Ocorre a quebra das hemiceluloses, a despolimerização da celulose nas regiões amorfas e a ruptura da lignina em blocos complexos. Até esta fase as reações são de natureza endotérmica.

Quando a temperatura ultrapassa os 280 °C inicia-se a fase C, ocorrendo a pirólise propriamente dita. As reações nesta fase são exotérmicas, quando a decomposição térmica da madeira pode se manter apenas com a energia liberada pela quebra das ligações das unidades básicas de celulose, hemiceluloses e lignina. Nesta fase são gerados monóxidos de carbono, metano, formaldeído, ácido fórmico, ácido acético, metanol, hidrogênio e alcatrões.

Ao ser atingida a temperatura de 450 °C inicia-se a fase D, quando não há mais madeira, apenas carvão. Nesta fase, os efluentes são altamente inflamáveis, com a capacidade de manterem a combustão.

De acordo com Ramage e Scurlock (1996) a pirólise convencional (300°C a 500°C) ainda é a tecnologia mais atrativa, devido ao problema do tratamento dos resíduos, que são maiores nos processos com temperatura mais elevada.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivos Gerais:**

Comparar as características energéticas dos resíduos de casca de grãos de café (*Coffea canephora* var. Conillon), serragem de esquadrias e do lenho de *Eucalyptus grandis* através da pirólise destes;

#### **3.2. Objetivos Específicos:**

Determinar os rendimentos gravimétricos em carvão, líquido pirolenhoso, gases incondensáveis e carbono fixo dos materiais lignocelulósicos;

Realizar a análise química e imediata do carvão vegetal obtendo os teores de material volátil, cinzas e carbono fixo;

Propor a substituição da lenha de *Eucalyptus sp*, pela queima direta dos resíduos agrícolas e florestais na secagem dos grãos de café *Coffea canephora* var. Conillon.

### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

#### 4.1. Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas na condução da pesquisa foram: casca (palha) de café *Coffea canephora* var. conilon e serragem, de madeira que foram obtidos no Município de Rio Bananal no Estado do Espírito Santo.

Como testemunha usou-se 10 discos de lenho de *Eucalyptus grandis*, com 14 anos de idade também obtidos no Município de Rio Bananal no Estado do Espírito Santo.



**Figura 1:** Cascas de grãos de *Coffea canephora* var. conilon.



**Figura 2:** Resíduo de serraria



**Figura 3:** Lenho de *E. grandis* cavaqueados.



A palha do café e a serragem foram utilizadas na sua forma de descarte, já o lenho do eucalipto foi cavaqueado para sua melhor manipulação e em seguida, depositado em um recipiente, colocado para secar ao ar livre e posteriormente em estufa com circulação forçada de ar regulada a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , durante 48 horas.



**Figura 4:** Estufa utilizada na secagem a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$

#### **4.2. Análise Termo-Gravimétrica de Materiais Lignocelulósicos - Destilação Seca**

Para análise termogravimétrica dos materiais foram utilizadas amostras de 120 gramas de material seco em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , durante 48 horas com cinco repetições por tratamento conforme a Tabela 1, onde constam os tratamentos analisados na pesquisa.

Nas destilações secas da casca de café, serragem e cavacos de eucalipto, os materiais foram conduzidos à temperatura de  $350^\circ\text{C}$  e  $550^\circ\text{C}$ , sendo que as amostras foram acondicionadas em um cadinho metálico, como mostra a Figura 5, adaptado para liberar gases e vapores durante o processo.



**Figura 5:** Cadinho metálico

Para a efetivação das destilações secas, o cadinho metálico foi colocado no interior de uma mufla elétrica adaptada (Figura 6), dotada de termostato para o controle da temperatura das amostras.

**Tabela 1** – Tratamentos avaliados no decorrer das análises termogravimétricas dos lenhos de *E. grandis*, serragem e de casca de grãos de café destilado até temperaturas máximas de 350 e 550°C

<b>Tratamentos</b>	<b>Especificação</b>
<b>1</b>	<b>Lenho de <i>E. grandis</i> destilado até temperatura máxima de 350°C</b>
<b>2</b>	<b>Lenho de <i>E. grandis</i> destilado até temperatura máxima de 550°C</b>
<b>3</b>	<b>Serragem destilada até temperatura máxima de 350°C</b>
<b>4</b>	<b>Serragem destilada até temperatura máxima de 550°C</b>
<b>5</b>	<b>Casca de grãos de café destilado até temperatura máxima de 350°C</b>
<b>6</b>	<b>Casca de grãos de café destilado até temperatura máxima de 550°C</b>

#### 4.2.1. Rendimentos gravimétricos

Após a destilação seca, tendo por base a matéria seca pirolisada, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão (RCV) (Equação 1), rendimentos em gases condensáveis (RGC) (Equação 2) e gases não condensáveis (RGI) (Equação 3).

$$\text{RCV} = (\text{PCV} / \text{PI}) \times 100$$

Equação 1,

onde:

RCV = Rendimento gravimétrico em carvão (%);

PCV = Peso do carvão obtido (g) e

PI = Peso inicial da amostra (g).

$$\text{RGC} = (\text{PGC} / \text{PI}) \times 100$$

Equação 2,

onde:

RGC = Rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%);

PGC = Peso dos gases condensáveis (líquido pirolenhoso) obtido (g) e

PI = Peso inicial da amostra (g).

$$\text{RGI} = 100 - (\text{RCV} + \text{RGC})$$

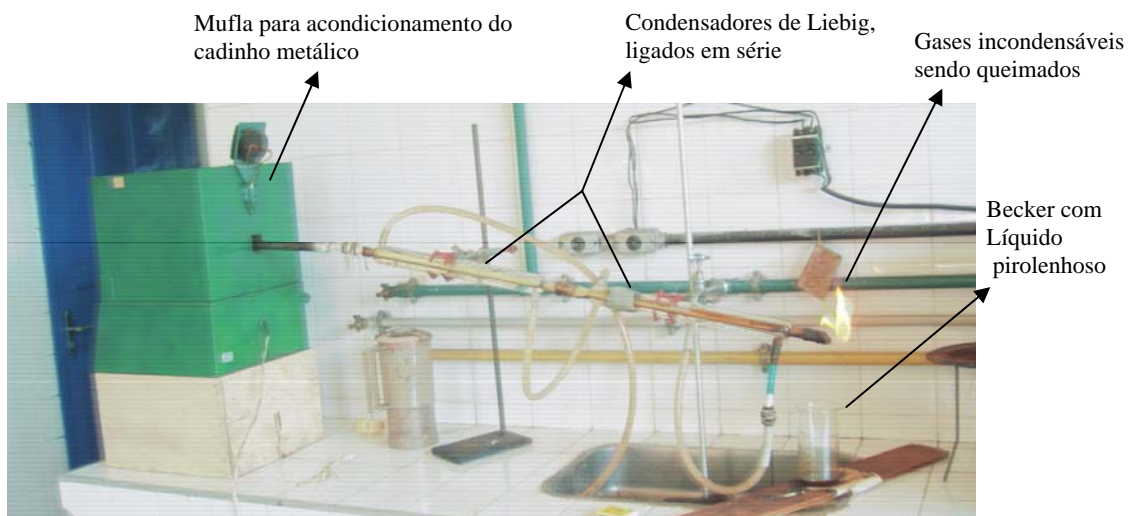
Equação 3,

onde:

RGI = Rendimento em gases incondensáveis (%);

RGC = Rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%) e

RCV = Rendimento gravimétrico em carvão (%).



**Figura 6:** Sistema laboratorial usado para a destilação seca dos materiais vegetais.

### 4.3. Análise Química Imediata do Carvão Vegetal

A análise química imediata do carvão vegetal foi efetuada com base na norma ASTM D-1762 – 64, adaptado por Oliveira et al. (1982). Todos os tratamentos foram macerados utilizando um macerador e um pistolo de porcelada (Figura 7) e em seguida os materiais foram separados por peneira Bertel com dois tipos de malha (crivo) um de 40 mesh e 60 mesh. A fração entre 40 e 60 mesh foi utilizada para análise química imediata, que voltou para estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . por mais 24 horas.



Foto: Juliana B.Amodei

**Figura 7:** Maceração da amostra de carvão vegetal.



**Figura 8:** Conjunto de peneiras sobrepostas.

Posteriormente, foram realizadas as seguintes determinações:

#### 4.3.1. Teor de materiais voláteis (TMV)

Para determinação do TMV, foram utilizados cinco cadinhos, que foram pesados em balança analítica anotando-se o peso dos mesmos: P(cad1), P(cad2), P(cad3), P(cad4) P(cad5). Em seguida, pesou-se cerca de 1,0 grama da amostra de carvão vegetal homogeneizada para cada cadinho e em seguida tampou-se. Estes foram conduzidos para uma mufla regulada a  $950^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$ , onde permaneceram por 2 minutos sobre a porta aberta, por 3 minutos na borda da mufla e por 6 minutos no interior mufla (com a porta fechada), como representados na Figura 9.



**Figura 9:** Mufla utilizada para análise química imediata do carvão vegetal

Posteriormente, os cadinhos foram retirados da mufla, colocados em um dessecador com sílica (Figura 10) por aproximadamente 10 minutos para esfriamento da amostra e pesou-se em uma balança analítica (sem a tampa).

O teor de materiais voláteis foi determinado através da equação 4.



**Figura 10:** Dessecador utilizado para esfriamento das amostras.

$$TMV = (1,0 - PA) \times 100$$

Equação 4,

onde:

TMV = Teor de materiais voláteis (%);

PA = Peso da amostra de carvão vegetal após a passagem pela mufla (g).

#### 4.3.2. Teor de cinzas (TCZ)

Para determinação do TCZ, foram utilizadas as mesmas amostras de carvão vegetal do item anterior, dentro dos mesmos cadinhos, previamente tarados (sem a tampa). Estes foram conduzidos para o interior de uma mufla regulada a  $750^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$ , com a porta fechada, onde permaneceram por um período de 6 horas. Em seguida, foram retirados da mufla e colocados em um dessecador com sílica para esfriamento da amostra e pesou-se em uma balança analítica (sem a tampa). Para determinação do Teor de Cinzas utilizou-se a equação 5.

$$TCZ = PR \times 100$$

Equação 5,

onde:

TC = Teor de Cinzas (%);

PR = Peso do resíduo no interior do cadinho (g).

#### 4.3.3. Teor de carbono fixo (TCF)

Para determinação do TCF do carvão vegetal, foi utilizada a equação 6.

$$TCF = 100\% - (TMV + TCZ)$$

Equação 6,

onde:

TCF = Teor de Carbono Fixo (%);

TMV = Teor de Materiais Voláteis (%) e

TCZ = Teor de Cinzas (%).

#### 4.4. Rendimento em carbono Fixo

O rendimento em carbono fixo foi calculado a partir da multiplicação do rendimento gravimétrico pelo teor de carbono fixo conforme a equação 7.

$$\text{RCF} = \text{RCV} \times \text{TCF} / 100$$

Equação 7,

onde:

RCF = Rendimento em carbono fixo (%);

RCV= Rendimento em carvão vegetal e

TCF = Teor de Carbono Fixo (%).

#### 4.5. Poder Calorífico Superior

O poder calorífico superior foi estimado conforme a Fórmula de Goutal como pode ser visto na equação 8.

$$\text{PCS} = (82 \times \text{C} + \text{A} \times \text{V})$$

Equação 8,

Onde:

C = porcentagem de carbono fixo;

V = porcentagem de material volátil e

A = coeficiente dado pela relação  $V/(V+C)^*$ .

\*

<u>V/(V+C)</u>	<u>A</u>
< 0,05	150
0,05 - 0,099	145
0,1 - 0,149	130
0,15 - 0,199	117
0,2 - 0,249	109
0,25 - 0,299	103
0,3 - 0,359	96
0,35 - 0,399	89
> 0,4	80

## 4.6. Análise Estatística

Para a análise dos dados relacionados às destilações secas foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com seis tratamentos e cinco repetições, dentro do esquema fatorial 3 x 2, sendo três matérias-primas vegetais e duas temperaturas máximas de destilação seca. A comparação estatística entre as médias dos tratamentos foi efetuada através do teste de Tukey, adotando-se o nível de 95% de probabilidade. Os dados foram processados utilizando o programa estatístico “ASSISTAT” versão 7.5 beta (2008).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Rendimentos Gravimétricos

São apresentados na Tabela 2 os valores médios dos rendimentos gravimétricos em carvão vegetal (RCV), em gases condensáveis (RGC) e em gases incondensáveis (RGI) obtidos a partir da destilação seca dos resíduos de casca de café (*Coffea canephora* var. conillon), serragem e do lenho de *E. grandis* (testemunha), nas temperaturas máximas de 350 e 550°C.

**Tabela 2** - Valores médios dos rendimentos gravimétricos em carvão vegetal (RCV), gases condensáveis (RGC) e gases incondensáveis (RGI).

Tratamento	Material lignocelulósico	Temperatura (°C)	RCV (%)	RGC (%)	RGI (%)
1	Lenho	350	29,87 d	46,62 a	23,51 c
2		550	26,08 f	45,71 ab	28,21 b
3	Serragem	350	31,83 c	40,60 c	27,57 bc
4		550	27,82 e	42,00 bc	30,18 b
5	Casca de café	350	40,58 a	27,77 d	31,65 ab
6		550	35,40 b	29,27 d	35,33 a

\*Valores médios seguidos de mesma letra na respectiva coluna não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O rendimento gravimétrico em carvão apresentado pelo lenho de *Eucalyptus grandis* foi, em média, menor do que aquele exibido pela serragem e menor ainda pela casca do café (*Coffea canephora*).

Para as duas temperaturas máximas de carbonização, todos os rendimentos gravimétricos médios em carvão foram estatisticamente diferentes, sendo que os rendimentos em carvão da casca do café foram os que apresentaram melhores resultados em ambas temperaturas, o lenho de eucalipto e serragem a 550°C apresentaram os menores rendimentos. Houve, para todos os materiais, decréscimo dos respectivos rendimentos gravimétricos em carvão com aumento da temperatura de carbonização. Diversos autores relataram haver uma relação negativa significativa entre o rendimento gravimétrico em carvão e a temperatura

máxima de carbonização (Brito, 1990; Andrade, 1993; Nogueira *et al.*, 2000). Dentro de certos limites técnicos e para uma mesma espécie vegetal, quanto maior a temperatura máxima de carbonização menor o rendimento gravimétrico em carvão, resultado da maior emissão de gases nas maiores temperaturas de pirólise, em razão do maior tempo de exposição aos efeitos degradantes da energia térmica. Andrade e Carvalho (1998) ressaltaram que, com o aumento da temperatura máxima de carbonização, se intensifica o processo de extração dos compostos volatilizáveis presentes na madeira quando esta é submetida à ação da energia térmica.

Sob as condições estabelecidas para a destilação seca dos materiais vegetais, foi observado um rendimento em gases condensáveis (líquido pirolenhoso), em média, maior para o lenho de *Eucalyptus grandis*, quando comparado com os resíduos de casca de café e serragem. O resíduo de palha de café foi o que apresentou a menor quantidade de líquido pirolenhoso, verificando assim que as diferenças dos gases condensáveis foram influenciadas pelos tratamentos e não pelas diferenças de temperatura.

No que se refere ao rendimento em gases incondensáveis, para todos os materiais lignocelulósicos analisados, observou-se um ligeiro aumento no rendimento frente ao aumento da temperatura máxima de pirólise. Os maiores valores foram observados no resíduo da casca de café, pirolisados em 350° C e 550°C. Os menores valores foram obtidos na destilação do lenho de eucalipto e serragem, ambos a 350°C respectivamente. No intervalo de 350°C a 550°C, significativas massas de materiais, que ainda se encontravam no interior do carvão, foram forçadas a sair pela ação da energia térmica, elevando o rendimento em gases, o que confirma a afirmação de Andrade e Carvalho (1998), de que, dentro de certos limites e para uma mesma espécie vegetal, quanto maior a temperatura máxima de destilação maior o rendimento em gases não-condensáveis.

## 5.2. Teores Médios da Análise Química

São apresentados na tabela 3 os valores médios dos teores de matérias voláteis, cinza e carbono fixo, bem como o rendimento em carbono fixo dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados.

**Tabela 3** - Valores médios dos teores de matérias voláteis (TMV), de cinza (TCZ), de carbono fixo (TCF) e rendimento em carbono fixo (RCF) dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados.

Tratamento	Material lignocelulósico	Temperatura (°C)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	RCF (%)
1	Lenho	350	24,76 b	00,36 d	74,60 c	22,28 bc
2		550	09,62 d	00,62 d	90,00 a	23,47 ab
3	Serragem	350	28,80 a	01,92 c	69,20 d	22,02 c
4		550	10,60 d	03,32 b	86,20 b	23,98 a
5	Casca de café	350	25,80 b	14,80 a	59,40 e	24,11 a
6		550	15,00 c	15,60 a	69,40 d	24,57 a

\*Valores médios seguidos de mesma letra na respectiva coluna não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey



Em relação ao teor de materiais voláteis foi verificado que quanto maior a temperatura de destilação menor será o seu valor. Esta afirmativa pode ser explicada pelo fato do material destilado a temperatura máxima de 550°C ter permanecido mais tempo no interior do cadinho. De acordo com Andrade e Carvalho (1993), de forma geral e do ponto de vista estatístico, correlações negativas são percebidas entre os teores de material volátil dos carvões e as temperaturas máximas de destilação seca. A observação dos teores médios de materiais voláteis dos carvões indica que eles foram mais influenciados pela temperatura máxima de destilação, do que pela matéria-prima propriamente dita.

Os teores de cinza apresentados pelos carvões derivados da palha do café foram muito altos (14,80 e 15,60%), quando comparados com os teores de cinza apresentados pelos carvões derivados da serragem e do lenho do eucalipto. Segundo Vale (2007) altos teores de cinzas provocam reduções nos teores de carbono fixado no carvão vegetal e está relacionado com a presença de quantidades e de qualidades diferentes de minerais presentes na biomassa, assim minerais como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros fazem aumentar o teor de cinzas. Esse excesso de cinzas poderia ser vendido como fertilizante e corretivo dos solos agrícolas.

Em relação ao teor carbono de fixo, os maiores valores foram apresentados pelos carvões derivados do lenho de eucalipto (em primeiro), e da serragem (em segundo), ambos destilados à temperaturas máximas de 550°C, observando influência maior da temperatura e não do tipo de material. Ainda do ponto de vista estatístico, o menor teor de carbono fixo foi apresentado pelo carvão da casca do café destilado à temperatura máxima de 350°C. Confirmou-se, portanto, conforme enunciado por Andrade (1993); Andrade e Carvalho (1998) e Nogueira *et al.* (2000), que há uma correlação positiva entre os teores de carbono fixo e as temperaturas máximas de destilação, isto é quanto maior a temperatura final de destilação maior será o teor de carbono fixo dos materiais destilados.

O rendimento em carbono fixo apresentado pela casca do grão de café (*Coffea canephora*) foi, em média, maior que aquele exibido pelo carvão do lenho de *Eucalyptus grandis*. Isto ocorreu em função dos maiores rendimentos gravimétricos em carvão vegetal (RCV) da casca do grão de café, observados no decorrer das destilações. Andrade (1989), afirma que, o rendimento em carbono fixo é o parâmetro que melhor expressa a qualidade energética da matéria-prima lignocelulósica para a produção de carvão vegetal. Desta forma, o carvão da casca de café, pirolisada em ambas as temperaturas, apresentou ser de melhor qualidade.

Para Oliveira (1982) os aumentos na temperatura final de carbonização proporcionam aumento no rendimento de carbono fixo e redução no rendimento em carvão.

### 5.3. Estimativa do Poder Calorífico Superior

Os valores do poder calorífico superior médio dos resíduos de casca de café (*Coffea canephora* var. Conillon), serragem e do lenho de *E. grandis* (testemunha), nas temperaturas máximas de 350 e 550°C, são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 4** – Valores médios dos poderes caloríficos superior (PCS) do lenho de eucalipto e dos resíduos de casca de café (*Coffea canephora* var. Conillon) e serragem dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados.

Tratamento	Material lignocelulósico	Temperatura (°C)	TCF (%)	PCS (Kcal/Kg)
1	Lenho	350	74,60 c	8716,8 a
2		550	90,00 a	8622,0 ab
3	Serragem	350	69,20 d	8556,8 ab
4		550	86,20 b	8473,4 b
5	Casca de café	350	59,40 e	7417,6 c
6		550	69,40 d	7418,6 c

\*Valores médios seguidos de mesma letra na respectiva coluna não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se verificar que existe uma diferença significativa entre os valores de poder calorífico entre os diferentes tratamentos. Os maiores valores foram encontrados no lenho de *Eucalyptus grandis* a 350 e 550°C respectivamente seguido pela serragem a 350°C. Esses valores estão de acordo com Vale (2004), onde o poder calorífico superior (PCS) tem uma relação direta com o teor de carbono fixo do carvão vegetal.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados, chegou-se às seguintes conclusões:

1. De acordo com os resultados pode-se concluir que os resíduos de casca de café proporcionam uma boa produção de carvão vegetal, visto que seus rendimentos gravimétricos em carvão foram 40,58 e 35,40% às temperaturas de 350 e 550°C respectivamente, sendo estatisticamente superior aos dos demais tratamentos, mostrando-se assim, um material com potencialidade para secagem dos grãos de café.
2. Ao visar à qualidade do carvão vegetal sem, contudo, atentar para a produtividade em carvão, deve-se optar pelo uso da serragem, destilada à temperatura máxima de 550 °C, cujo teor médio de carbono fixo foi muito próximo àquele apresentado pelo carvão do lenho de eucalipto (*E. grandis*), destilado à temperatura máxima de 550 °C.
3. Ao visar, simultaneamente, à produtividade e qualidade do carvão vegetal, deve-se optar pela casca de café em ambas as temperaturas e pela serragem a 550°C, isto devido aos rendimentos médios em carbono fixo, que nesses casos, superam àqueles apresentados pelos carvões derivados de lenho do eucalipto (*E. grandis*), sendo iguais estatisticamente.
4. Em se tratando do poder calorífico superior, mesmo apresentando diferença significativa entre os tratamentos podemos concluir que a serragem e o resíduo de casca de café poderão ser utilizados para secagem de grãos de café pois, os mesmos apresentaram valores de PCS muito próximos aos do lenho de eucalipto.

5. O resíduo da queima da palha de café (cinzas) por possuir um alto teor de minerais, poderá ser utilizado pelo produtor rural para adubação do cafezal, suprimindo assim parte da adubação química necessária no seu manejo.

6. Em virtude dos bons rendimentos gravimétricos e rendimentos em carbono fixo apresentados, o carvão vegetal derivado dos resíduos estudados neste trabalho, poderá ser utilizado como insumo energético na secagem artificial de café dentre outras aplicações afins. Com esse aproveitamento ocorrerá uma redução dos resíduos produzidos na exploração agrícola, das áreas destinadas à disposição e descarte destes, racionalização dos recursos florestais, podendo ser uma nova alternativa econômica para as empresas, pois apresentam um baixo valor de aquisição quando comparado com a madeira, aumentando assim a geração de renda, de novos empregos e contribuindo de forma significativa para reduzir o volume de lixo gerado e poluição do meio ambiente.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDRADE, A.M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

ANDRADE, A. M. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. 1989. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. **Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro**. Floresta e Ambiente, v.5, n.1, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Normas Técnicas **NBR 8633**. Brasília, 1987.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard method for chemical analyses of wood charcol. Phyladelphia, 1977.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A.; KLOCK, U. **Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serrarias através do balanço de materiais**. Revista Floresta 32 (2), 2002.

BRITO, E.O. **Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira**. Revista da Madeira, Caxias do Sul, v.26, 1996.

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Piracicaba, SP, Documentos Florestais, v. 9, maio 1990.

CARVALHO, A.M.M.L. **Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão**. 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARVALHO, T. C. S. & CÂMARA, J. B. D. IBAMA, GEO Brasil 2002 - **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. - Brasília: Edições IBAMA, 2002.

CETEC, **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1982.

GIOMO, G. S. **Informações eletrônicas**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2006.

GONÇALVES, C.A. **Celulose e carvão vegetal de mimosa *Caesalpiniaefolia benthan* (SABIÁ)**. Floresta e Ambiente, v. 6, n. 1, jan./dez. 1999.

HALL, D.O. 1991. **Biomass Energy, Energy Policy**, October, Butterworth-Heinemann Ltd., London.

INFOTEC/PRÓ-CARVÃO – **Carvão vegetal de eucalipto**. Informativo Técnico do Programa de Qualificação da Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo, Piracicaba, SP, ano 2, n. 4, 2001.

KIHEL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

LEEUWSTEIN, Jürgen Michel. **Gerenciamento Ambiental**, São Paulo: v. 3, n. 13, jan./fev. 2001.

MARON, A.; NEVES, J. M. **Utilização de misturas de cavacos industriais com resíduos de serraria provenientes de madeiras de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades para produção de pasta Kraft**, Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, Revista Ciência Florestal, v. 14, n. 1, 2004.

NOGUEIRA, L.A.H. et al. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília, DF: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

O Conillon no Espírito Santo - **Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência técnica e Extensão Rural** – INCAPER. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br> Acesso : 15 out. 2008.

OLIVEIRA, E. de **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. (Tese-Mestrado-UFV), Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J.B. et alii. **Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria**. In: FUNDAÇÃO CETEC. Carvão vegetal. Belo Horizonte, 1982.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2004.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília, 2003.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2004.

RAMAGE, J; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. New York: Oxford University Press, 1996.

RODRIGUES, L. D.; SILVA, I. T.; ROCHA, B. R. P.; SILVA, I. M. O. **Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará**, nd.

SECTAM. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Relatório de Gestão**. Belém, Governo do Estado do Pará, 2002.

THIBAU, C.E. **Produção sustentada em florestas**. Belo Horizonte, MG, 2000.

WIKIPEDIA, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Res%C3%ADduo> Acesso : 15 out. 2008.

UHL, C. e ALMEIDA, O. **O desafio da exploração sustentada da Amazônia**. Em ALMEIDA, O. (org.). A evolução da fronteira amazônica oportunidades para um desenvolvimento sustentável. Belém, Imazon, 1996.

VALE A. T., **Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*)**, DUKE, Revista Cerne, Lavras, v. 13, n. 4, out./dez. 2007.

VALE A. T., **Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço da laranja (*Citrus sinensis*)** Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, 2004.

WENZL, H.F.J. **The chemical technology of wood**, New York, USA, Academic Press, 1970.