



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DE PATOS**

DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis*
Hill (ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* Smith PROVENIENTE DE PLANTIOS NO
RIO DE JANEIRO**

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2013

DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* Smith PROVENIENTE DE PLANTIOS NO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, como um dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Florestal, nível graduação.

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Elisabeth de Oliveira

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2013

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO CSTR/
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CAMPUS DE PATOS – PB

C837a
2013

Costa Júnior, Djailson Silva da

Avaliação físico-química do carvão das espécies *Eucalyptus grandis* hill (ex maiden) e *Eucalyptus saligna* smith proveniente de plantios no Rio de Janeiro / Djailson Silva da Costa Júnior. – Patos - PB: CSTR/UAEF/, 2013.

41 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural.

“Orientação: Elisabeth de Oliveira”

Referências.

1 – Biomassa. 2 – Rendimento Gravimétrico. 3 – Carbono Fixo.
I – Título.

CDU: 930*8

DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CARVÃO DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* Smith PROVENIENTE DE PLANTIOS NO RIO DE JANEIRO

Monografia apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, para obtenção do Grau de Engenheiro Florestal, nível graduação.

APROVADA em: 19 / 09 / 2013

Prof.^a. Dr.^a. Elisabeth de Oliveira (UAEF/UFCG)
Orientadora

Prof.^a. Dr. Leandro Calegari (UAEF/UFCG)
1º Examinador

Prof.^a. Dr.. Josuel Arcanjo da Silva (UAEF/UFCG)
2º Examinador

À minha base

Minha família

Aos meus pais

Djailson Silva da Costa

Lindinalva Nóbrega de Barros

A minha irmã

Dayse

Dedico este trabalho e os frutos que daqui hão de render perante minha graduação, a minha família pelo seu reconhecimento e incentivo em minhas jornadas.

DEDICO

Aos meus pais de coração

Severino Nóbrega de Barros

Eliete Leal da Nóbrega

Aos meus irmãos que amo tanto

Elinho, Russo e Pedrinho

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente “Aquele” que esteve, mesmo que onisciente, protegendo minha pessoa nas minhas expedições, durante as idas e vindas de meu esforço; “Aquele” que foi consolo e companheiro nos momentos em que por virtude das dificuldades pensei em desistir, mas rapidamente o Pai Celestial sempre me mostrava um novo horizonte, nos silêncios repentinos da solidão, nas horas longas pensando em minha família; enfim, agradeço a Deus por me dar capacidade, sabedoria e me encher de luz e força no intuito de finalizar esta caminhada e início de um novo ciclo.

Agradeço aos meus pais por terem se esforçado em fornecer educação adequada, formação pessoal e por terem me incentivado, mesmo nas dificuldades e contratemplos, a minha irmã, meu cunhado Zito pelas suas palavras de sabedoria, as minhas princesas Evilly e Gabriella. Serei eternamente grato ao meu tio “Biu” e minha tia Eliete pela sua valiosa contribuição em minha formação, dando-me carinho fraternal. Agradeço aos meus avós, tias, tios, primos e os demais.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), assim como a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) que me acolheu durante “intercâmbio”, instituições responsáveis por minha formação profissional. Aos professores que amando a profissão a ela dedicam grande parte de suas vidas.

Aos meus amigos de turma 2008.1, assim como todas as amizades construídas ao longo desse tempo, em especial a galha dos nodras.

Aos amigos do Laboratório de Energia da Madeira da UFRRJ, que me auxiliaram em muito ao longo das pesquisas, aos Líderes Azarias, Ananias e Vitor Werneck pelo, companheirismo e aprendizado, e demais amizades da “Rural”.

Aos meus orientadores Elisabeth de Oliveira e Azarias Machado de Andrade por ter me aceito como aprendiz e confiado à minha pessoa este precioso trabalho, e contribuiu de forma significativa com os seus conhecimentos para conclusão deste trabalho, sou grato a ele também pelas discussões em torno das metodologias e correções pertinentes e valorosas neste trabalho, assim como a banca examinadora.

Outras pessoas que por acaso não estejam referidas, mas que caminharam e contribuíram em determinado momento ao meu lado ajudando e apoiando, a todos os meus sinceros agradecimentos.

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;
não fosse por elas, eu não teria saído do lugar...
As facilidades nos impedem de caminhar.
Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”*

Chico Xavier.

COSTA JÚNIOR, Djailson da Silva. **Avaliação físico-química do carvão das espécies *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* Smith proveniente de plantios no Rio de Janeiro.** 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos – PB, 2013.41 f.

RESUMO

O Brasil produz aproximadamente 1/3 da produção mundial de carvão vegetal e sua quase totalidade é destinada a produção brasileira de ferro-gusa, ferro ligas e silício metálico. No mercado cada vez mais competitivo é necessário que as empresas florestais realizem uma busca permanente por materiais genéticos que forneçam madeira com as propriedades adequadas para uma determinada finalidade, aliada a uma elevada produtividade e qualidade. Nesse contexto essa pesquisa tem por objetivo avaliar a qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maidem e *Eucalyptus saligna* Smith procedentes de pomares de sementes do município Anhembi –SP, cultivadas em Paty do Alferes – RJ com seis anos de idade. Para tanto foram selecionadas seis árvores ao acaso por espécie, carbonizadas durante 3hs à 500 °C. Foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão, rendimento em líquido pirolenhoso e gases incondensáveis, análise físico-química, densidade aparente e poder calorífico superior do carvão. A densidade básica da madeira de *E. grandis* foi de 445 Kg/m³, para *E. saligna* foi de 442,5 Kg/m³ não havendo diferença significativa entre as médias obtidas, para densidade aparente do carvão não houve diferença significativa em consequência das propriedades físicas da madeira, com média de 335 Kg/m³ e 334 Kg/m³, porém houve diferença em seu rendimento gravimétrico com médias de 23,45% e 25,7%, respectivamente, apresentando teor de carbono fixo para o *E. grandis* de 91,25% e *E. saligna* de 85,41%, poder calorífico superior de 8351Kcal/Kg e 8491Kcal/Kg, respectivamente, embora a espécie *E. saligna* tenha apresentado maior rendimento em carbono fixo, deve optar pela espécie *E. grandis* para condições destes plantios para atividades que requer alto teor de carbono fixo com baixo teor de matérias voláteis.

Palavras-chave: Biomassa. Rendimento Gravimétrico. Carbono Fixo.

COSTA JÚNIOR, Djailson da Silva. **Evaluation physicochemical of charcoal from species *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) and *Eucalyptus saligna* Smith from plantations in Rio de Janeiro.** 2013. 41 Sheets. (Monograph) Graduation in Forest Engineering - Federal University of Campina Grande, Rural Health and Technology Center, Patos - PB, 2013.

ABSTRACT

The Brazil produces about 1/3 of world production of charcoal and almost all is designed to Brazilian production of pig iron, the iron alloys and silicon metal. In an increasingly competitive market it is necessary that forestry companies conducting a permanent search for genetic materials that provide wood with properties suitable for a particular purpose, combined with high productivity and quality. In this context this study aims to evaluate the quality of charcoal from *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Eucalyptus saligna* Smith coming of seeds of the city Anhembi-SP, grows in the Paty do Alferes - RJ with six years old. Therefore, we randomly selected six trees per species during 3hs carbonized at 500°C. Were determined gravimetric yield in charcoal, yield in pyroligneous liquid and non-condensable gases, physicochemical analysis, density and calorific value of charcoal. The wood basic density of *E. grandis* was 445 kg/m³, to *E. saligna* 442.5 kg/m³ was no significant difference between the averages obtained, for apparent density of charcoal there was no significant difference as a result of the physical properties of wood, with average of 335 Kg/m³ and 334 Kg/m³, however there were differences in their gravimetric yield with averages of 23.45% and 25.7%, respectively, presenting fixed carbon content for the *E. grandis* of 91,25% and *E. saligna* of 85,41%, calorific value superior 8351Kcal/Kg and 8491Kcal/Kg, respectively, although the species *E. saligna* has showed a higher fixed carbon, shall choose the species *E. grandis* to these conditions of plantations for activities requiring high fixed carbon content with low content of volatile material.

Key-words: Biomass. Gravimetric Yield. Fixed Carbon.

Lista de Figuras

Figura 1 — Produção de carvão vegetal do Brasil no período de 1961 a 2009.....	17
Figura 2 — Fazenda Membeca, Distrito de Avelar, Paty do Alferes (RJ) Brasil.	21
Figura 3 — Procedimento para retirada dos discos de madeiras	22
Figura 4 — Forno elétrico tipo mufla utilizado nas carbonizações.....	24
Figura 5 — Maceração do carvão vegetal	27
Figura 6 — Peneiras classificatórias de 40 mesh e 60 mesh	28

Lista de Quadros

- Quadro 1** — Procedências de material genético.22
- Quadro 2** — Coeficientes do Poder Calorífico Superior, para a fórmula de Goutal. .27

Lista de Tabelas

Tabela 1 — Características dendrométricas e densidade básica da madeira.	29
Tabela 2 — Rendimentos gravimétricos médio, numa temperatura de 500 °C.	30
Tabela 3 — Análise química imediata.....	32
Tabela 4 — Parâmetros físicos da madeira e do carvão vegetal.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Biomassa.....	15
2.1.1 Eucalipto.....	15
2.2 Densidade de biomassa florestal	16
2.3 Contexto energético	16
2.4 Carvão vegetal	18
2.5 Parâmetros de qualidade do carvão vegetal	18
2.5.1 Poder Calorífico.....	18
2.5.2 Composição química do carvão vegetal.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Localização e caracterização da área de coleta da madeira.....	21
3.2 Procedência do material genético e seleção de espécies.....	22
3.3 Amostragem das madeiras das espécies selecionadas.....	22
3.4 Análise da madeira.....	23
3.4.1 Parâmetros Dendrométricos.....	23
3.4.2 Densidade básica da madeira	23
3.5 Carbonização em escala de laboratório	24
3.5.1 Rendimentos gravimétricos	25
3.6 Análises físicas do carvão vegetal	26
3.7 Análise química imediata.....	27
3.8 Rendimento em carbono fixo.....	28
3.9 Análises estatísticas.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Características dendrométricas e densidade básica da madeira	29
4.2 Rendimento gravimétrico e análise química imediata do carvão.....	30
4.3 Densidade do carvão vegetal.....	32
4.3.1 Estimativa do poder calorífico superior.....	33
5 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é considerado uma fonte energética de segunda categoria, devido ao seu meio de produção ser considerado de baixo custo, oriundo de florestas nativas, de atividade secundária. Devido a escassez de fontes primárias a biomassa florestal passou a ser uma fonte principal de relevância na matriz energética (OLIVEIRA et al., 1982).

O uso de fontes renováveis é uma tendência mundial, cada vez mais difundido, principalmente por razões ambientais e econômicas. Sendo a biomassa florestal uma das fontes em destaque, principalmente devido a capacidade produtiva. Nos países em desenvolvimento é comum fazer uso de espécies florestais como *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.*, para o suprimento nos setores domésticos e industriais, tal fonte necessária para o desenvolvimento da humanidade.

O Brasil destaca-se no setor mundial como maior produtor e consumidor de carvão vegetal sendo o único país no mundo no qual este insumo tem uma aplicação industrial em grande escala, como seu uso principal na fabricação do ferro gusa, aço e ligas de ferro (AMS, 2009).

As espécies do gênero de *Eucalyptus* são amplamente plantadas no Brasil em função do rápido crescimento, adaptação ecológica e qualidade da madeira para diversas finalidades, seja para produção de celulose, chapas de fibra, lenha, carvão vegetal, construção civil, dentre outras. As florestas plantadas, principalmente desse gênero, ganharam destaque devido sua alta produtividade, fazendo com que ocorra uma diminuição sobre a exploração de florestas nativas. O estabelecimento de florestas para a produção de carvão vegetal envolve diversos estudos relacionados com a silvicultura e a tecnologia de produção, tais como seleção de material genético aliado à produtividade de florestas e a qualidade de matérias genéticas em relação à qualidade da madeira influenciando nas propriedades físico-químicas do carvão vegetal. O rendimento na produção de carvão é maximizado quando se faz uso de madeiras de maior densidade, de maior poder calorífico e constituição química adequada, resultando em melhor qualidade.

O rendimento do processo de transformação da madeira em carvão vegetal será influenciado pela espécie escolhida, assim como os diferentes sistemas de carbonização e de temperaturas, influenciando nas características físicas e químicas do carvão vegetal.

A qualidade da madeira sofre variações devido as suas estruturas anatômicas, composição química, material genético e seus atributos físicos, influenciando na qualidade do carvão vegetal. As propriedades físico-químicas da madeira estão inteiramente ligadas à qualidade dos produtos madeireiros, sendo fatores decisivos na escolha da espécie, quando se busca produzir carvão vegetal de boa qualidade ou qualquer outro produto.

A atividade carvoeira é uma oportunidade para complementação de renda para produtores rurais, sendo sua valorização de fundamental importância, no sentido de permitir adequação aos princípios, que envolvem ordem tecnológica, econômica, social e ambiental. Entretanto, as ações somente poderão ser conduzidas mediante o conhecimento mais detalhado e aprofundado da atividade.

A maior parte do carvão vegetal é destinada à atividade de produção do ferro-gusa, aço e ferro-ligas que funciona como redutor (coque vegetal) e energético, seguido das demais destinações do setor comercial como pizzarias, padarias e churrascarias.

Existem inúmeras pesquisas desenvolvidas neste campo, havendo um somatório considerável de fatores preconizados como base para análises. Estudos mais detalhados permitem a quantificação isolada de cada fator interferente em relação à qualidade físico-química tanto da madeira como do carvão vegetal, os quais na prática podem ser analisados conjuntamente a fim de nortear a escolha da melhor espécie a produzir em determinada região para a produção de madeira para energia.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo avaliar os parâmetros de qualidade do carvão vegetal por meio de suas propriedades físico-químicas das espécies de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith cultivado no município de Paty do Alferes – RJ, para fins energéticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biomassa

A Biomassa é definida como todo material orgânico de origem vegetal, este material deriva da reação entre gás carbônico (CO₂ no ar), água (H₂O) e luz solar, ou seja, pelo processo de fotossíntese, qual armazena fração de energia solar nas ligações químicas de seus componentes (SOUZA et al., 2002).

Basicamente a biomassa é um hidrocarboneto, que possui átomos de oxigênio na sua composição química, diferentemente dos combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, sendo menos poluente, mas conseqüentemente a quantidade de energia a ser liberada é reduzida, diminuindo assim o seu Poder Calorífico Superior (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

A escolha do processo de conversão e as dificuldades de processamento subseqüentes que possam surgir varia de acordo com o tipo de biomassa existente. Assim é de suma importância avaliar as características da biomassa para direcionar a melhor tecnologia de conversão e sua utilização, evitando a exploração de uma biomassa cara e que tenha baixa eficiência energética. A caracterização da biomassa pode basear nas Propriedades Físicas (Granulometria, Massa Específica, Densidade e Teor de Umidade), Propriedades Químicas, influenciando na qualidade do carvão vegetal e no seu Poder Calorífico (VIEIRA, 2012).

2.1.1 Eucalipto

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália e da região sudeste asiática e pertence à família Myrtaceae. Possui cerca de 600 espécies, além de um grande número de variedades e alguns híbridos, sendo a maioria destes descrita por S. T. Blake, em 1934 *apud* (ANDRADE, 1961; LIMA, 1993).

As espécies do gênero *Eucalyptus* sp. no Brasil são utilizadas em larga escala no estabelecimento de florestas industriais e em pequenos povoados em propriedades rurais. Suas características de rápido crescimento, boa adaptação às

condições climáticas e edáficas existentes em diferentes áreas do país, explicam a importante participação desse gênero nos povoamentos tecnicamente implantados para fins de reflorestamento (STURION; BELLOTE, 2000).

De acordo com a literatura, as espécies mais utilizadas, para fins energéticos, são: *Eucalyptus grandis* (FREDERICO, 2009), *Eucalyptus urophylla* (ANDRADE, 2009), *Eucalyptus camaldulensis* (PINHEIRO et al., 2005), *Eucalyptus cloeziana* (PINHEIRO et al., 2005); *Eucalyptus pellita* (OLIVEIRA et al., 2010); *Eucalyptus saligna* (TRUGILHO et al., 2001); híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (TRUGILHO et al., 2005; CAMPOS, 2008; FREDERICO, 2009; ARANTES, 2009; SANTOS, 2010), híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* (TRUGILHO et al., 2005; SANTOS, 2010; ROCHA, 2011).

2.2 Densidade de biomassa florestal

Define-se densidade como a razão entre a massa específica da biomassa pela massa específica da água (ρ_{H_2O}) na condição padrão (25°C e 100 kPa), ou seja, 1000 kg/m^3 (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

Esta relação entre a massa específica e unidade de volume pode variar de 0,13 a $1,40 \text{ g/cm}^3$ (BOWYER et al., 2003), estando relacionada com muitas propriedades e características tecnológicas, importantes para a produção e a utilização dos produtos florestais, sendo um bom índice universal para avaliar a qualidade da madeira (MEDEIROS et al., 2009).

Diversos autores citam como fator principal de escolha da madeira para fins energéticos a densidade. Várias pesquisas retratam correlações entre a densidade do carvão vegetal e a densidade básica da madeira, sendo então uma prática recomendável sob o aspecto da utilização industrial (BRITO, 1982).

2.3 Contexto energético

O uso de espécies nativas para fins energéticos geralmente está associado ao uso de madeiras provenientes de desmatamentos indiscriminados, sendo comum o uso como fonte energética clandestina, contribuindo para escassez de matéria-

prima (SANTOS et al., 2005). Devido estes fatores, Azevedo et al.(2002) *apud* Machado (2008) conduziu estudos com espécies exóticas como *Acácia mangiun* Willd, que permitem obter os mesmos benefícios das espécies nativas, de maneira sustentável.

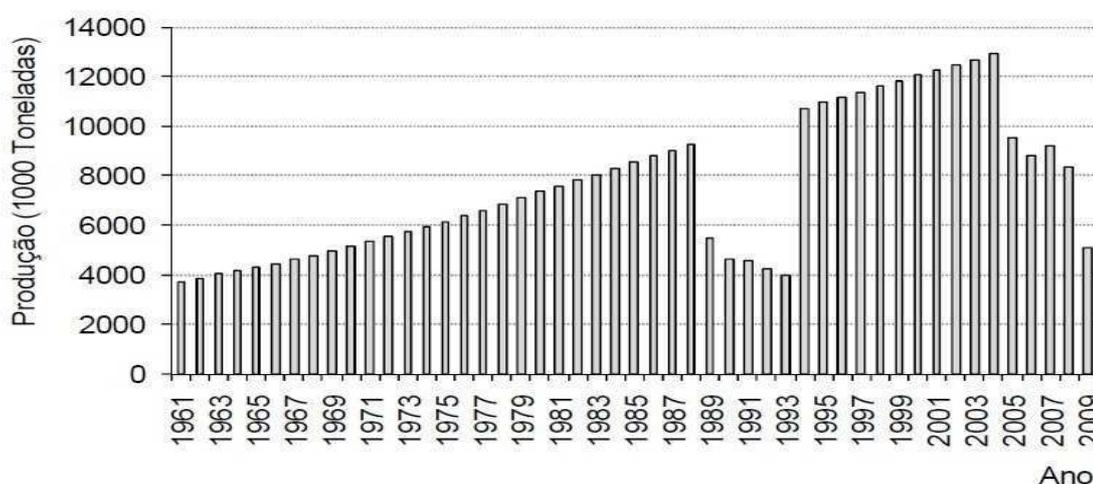
Com o uso da madeira para diversos fins energéticos e o avanço das siderúrgicas devido a suas exportações, o Brasil no século XIX tornou-se o maior produtor mundial de carvão vegetal, para a produção de ferro-gusa, ferro-ligas e aço (REZENDE; SANTOS, 2010).

Devido a agravação da crise econômica no ano de 2008 houve uma queda na produção de carvão vegetal e conseqüentemente sua desvalorização no mercado. No ano de 2010 aconteceu a recuperação da economia nacional, entretanto, alguns setores como o guseiro, que é o maior consumidor de carvão vegetal no país, continuou em crise (ABRAF, 2011).

Até o final do ano de 2010, existia um elevado índice de ociosidade na produção guseira a carvão vegetal, sendo que a produção anual foi de apenas 1/3 da capacidade instalada e somente 56,0% dos fornos funcionaram (ABRAF, 2011).

De acordo com o cenário de produção de carvão vegetal FAO (2010) houve um decréscimo no início da década de 90 estando relacionado com a transição de moeda de mercado, a quantidade de carvão vegetal produzido no Brasil, no ano de 2009, foi de aproximadamente 5 milhões de toneladas, sendo este valor o menor apresentado desde o ano de 1994 (Figura 1).

Figura 1 — Produção de carvão vegetal do Brasil no período de 1961 a 2009.



Fonte — FAO (2010)

2.4 Carvão vegetal

O carvão vegetal é um insumo energético de grande importância econômica para o País, sendo considerado nos países subdesenvolvidos um combustível imprescindível, por motivos econômicos e financeiros (GUARDABASSI, 2006 *apud* SANTOS; HATAKEYAMA, 2012). Este por sua vez como insumo básico para a indústria siderúrgica, fornecendo redutor para a produção nacional de ferro-gusa produção de aços e ferros fundidos constitui a base de todo o desenvolvimento da chamada indústria metalúrgica, segmento importante da economia brasileira (ABRACAVE, 1989).

Através da destilação seca é produzido o carvão vegetal, material predominantemente orgânico, em ambiente onde a temperatura e a atmosfera (entrada de ar) são devidamente controladas, para que haja a remoção da maior parte dos componentes voláteis. Na produção de carvão, a madeira é submetida ao fogo, onde sofre transformação térmica na presença controlada de oxigênio, onde libera frações gasosas e sólidas, gerando assim o carvão vegetal (ASSIS et al., 2008). Segundo Brito (1990), durante a destilação ocorre a concentração do carbono fixo, devido à eliminação de compostos voláteis como o hidrogênio e do oxigênio, dando origem ao termo “carbonização da madeira”. Oliveira et al. (1982) afirmam que a carbonização da madeira resulta em uma fase sólida, que é o carvão vegetal propriamente dito, e numa fase gasosa que é liberada no processo, parte desses gases podem ser condensados, gerando o licor pirolenhoso, alcatrão e o restante, formado basicamente pelos gases CO_2 , CO , H_2 e hidrocarbonetos (CH_4), podendo ser utilizado como combustível no próprio processo de carbonização.

2.5 Parâmetros de qualidade do carvão vegetal

2.5.1 Poder Calorífico

Quirino (2011); Nogueira e Lora (2003) e Nogueira (2007) afirmam que Poder Calorífico é a quantidade de calor liberadas por um material em sua combustão completa em termos da energia por conteúdo por unidade de massa ou volume, daí

MJ / kg (sólidos), a MJ / L para líquidos e por fim para gases para MJ/Nm³. De uma maneira geral, essa propriedade depende da composição da biomassa e do seu grau de umidade.

Segundo Nogueira (2007), o Poder Calorífico Superior (PCS) representa o calor liberado, ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível. O PCS pode ser obtido de duas maneiras: Por Bomba Calorimétrica, qual consiste em colocar “n” quantidade de biomassa dentro de uma bomba calorimétrica seguindo os procedimentos ditados pela NBR 8633 (Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico), qual dará o valor do PCS. Pode-se ainda ter o PCS através da Análise Elementar, pois através da mesma é possível relacionar do PCS de uma biomassa com a quantidade de ligações químicas envolvendo seus elementos. Conhecendo a fração mássica dos componentes da biomassa, então consequentemente é possível calcular o PCS.

O Poder Calorífico Inferior (PCI) é calculado a partir do PCS, porém considerando o teor de umidade que está presente no combustível, ou seja, corresponde à quantidade de calor útil para acontecer a queima da biomassa. Esta análise retrata melhor a qualidade do combustível (Quirino (2003); Calegari et al. (2005)).

Assim como pesquisas apontam que a constituição química reflete na qualidade do carvão vegetal, outro fator que resulta num produto de melhor qualidade é o seu poder calorífico, estando como entre os principais critérios de seleção para atividades (PALUDZYSYN, 2008).

2.5.2 Composição química do carvão vegetal

O controle da composição química do carvão vegetal é importante, pois seu efeito reflete a utilização do forno por unidade de volume. Para determiná-la é realizada, entre outros ensaios, a análise química imediata, que visa quantificar os constituintes: carbono fixo, matérias voláteis e cinza (CARDOSO, 2010).

Segundo Balanço Energético Nacional – BEM (2010), 44% da matriz energética é oriundo de fontes renováveis, o restante da matriz energética além de serem finitas, ao serem utilizadas podem emitir gás carbônico (CO₂), que contribui

para o problema do século conhecido como efeito estufa. A importância das alterações climáticas, a crescente preocupação sobre o aumento dos preços dos combustíveis fósseis para transporte assim como a segurança energética faz com que muitos países encarem as fontes alternativas de energias, energia renovável, como um elemento chave para a estratégia nacional de energia e redução de impactos ao meio ambiente.

Segundo McKendry (2002), o teor de voláteis é a parte impulsionada como um gás (incluindo umidade) por aquecimento (a 850 °C por 7 min.), ou seja, o teor de voláteis é quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850 °C num forno mufla por sete minutos.

Para Lewandowski (1997) *apud* Klautau (2008), o material volátil interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade conseqüentemente a ignição. Enfim, determina a facilidade com que uma biomassa queima.

As cinzas são constituídas de composto de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). Estas cinzas se em alta concentração podem diminuir o poder calorífico (PC), causa perda de energia e sua presença afeta também a transferência de calor sendo, portanto necessário à remoção das mesmas (STREHLER, 2000 *apud* KLAUTAU, 2008).

Carbono fixo (CF), por sua vez representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002).

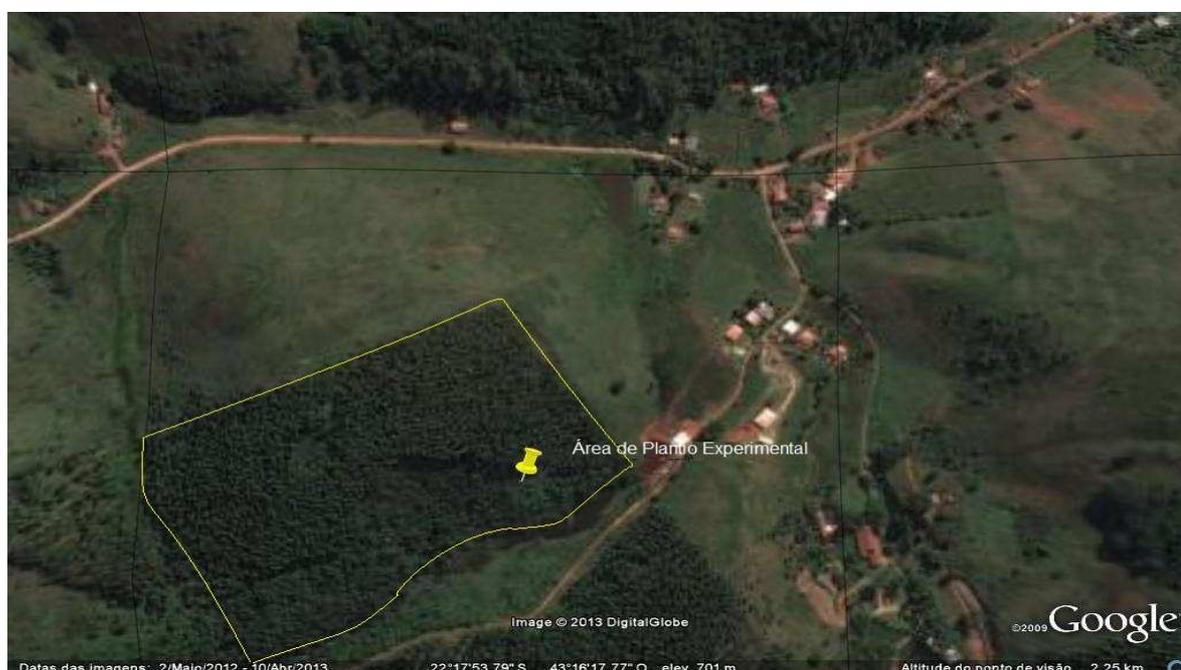
As propriedades químicas como alto teor de carbono fixo, baixo teor de matérias voláteis e baixo teor de cinzas, obtidos desta maneira num carvão vegetal significam em um carvão de boa qualidade (RIBEIRO; VALE, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de coleta da madeira

As espécies estudadas são provenientes de plantios no Sítio Membeca, distrito de Avelar, área pertencente à empresa Rigotex Têxtil, no Município de Paty do Alferes - RJ, em área de encosta, entre as coordenadas geográficas 22°17'57,80" S e 43°16'19,65" O, a uma altitude de 706 metros (Figura 2).

Figura 2 — Fazenda Membeca, Distrito de Avelar, Paty do Alferes (RJ) Brasil.



Fonte –(Google Earth, 2013), Adaptado por Costa Júnior (2013)

O relevo é ondulado a fortemente ondulado e os solos predominantes são classificados como Latossolos, Argissolos e Cambissolos (Rio de Janeiro, 1992). O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é tropical úmido de altitude, com chuvas no verão e estiagem no inverno (INMET/MAARA, 1995) *apud* (QUEIROZ, 2007), Segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO) *apud* (QUEIROZ, 2007), a região apresenta precipitação média anual de 1.134 mm, com chuvas concentradas de novembro a março e período seco de abril a agosto.

3.2 Procedência do material genético e seleção de espécies

Foram selecionadas as espécies *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* Smith. A escolha das espécies faz parte de um trabalho mais amplo que objetiva obter conhecimentos sobre comportamento de desenvolvimento destas espécies na região, com seis anos de idade. A procedência e grau de melhoramento das espécies em estudos encontram-se no Quadro 1. As sementes foram adquiridas do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF).

Quadro 1 — Procedências de material genético.

Material genético	Procedência	Grau de Melhoramento
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maidem	Anhembi - SP	APS*
<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	Anhembi - SP	APS*

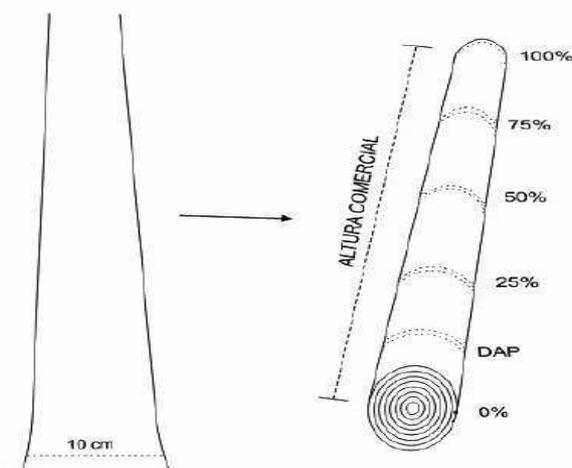
*APS = Área de Produção de Sementes

Fonte – Costa Júnior (2013)

3.3 Amostragem das madeiras das espécies selecionadas

Foram selecionadas 6 árvores ao acaso por espécie de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, que apresentavam boa fitossanidade, de cada indivíduo, foram retirados discos de 2,5 cm de espessura, a 0 (base); DAP; 25 %; 50 %; 75 % e 100% da altura comercial do fuste com 5 cm de diâmetro, (Figura 3).

Figura 3 — Procedimento para retirada dos discos de madeiras



Fonte – Mattos (2011)

Essas amostras das árvores foram devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica – RJ. Os discos de todas as árvores foram cavaqueados e homogeneizados, onde foram retiradas subamostras para posteriores análises.

3.4 Análise da madeira

3.4.1 Parâmetros Dendrométricos

Os parâmetros dendrométricos foram obtidos através de uma avaliação das características de crescimento com medição do diâmetro a altura do peito (DAP); altura total e comercial; e do volume com casca e sem casca, sendo os respectivos volumes das secções obtidos por meio da aplicação da fórmula de Smalian (Equação 1).

$$V = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) * L = \left[\frac{\left(\frac{\pi D_1^2}{40.000} \right) + \left(\frac{\pi D_2^2}{40.000} \right)}{2} \right] * L \quad (1)$$

Onde:

V= volume do tronco, em m³;

g_i = área seccional, em m²;

D_1 e D_2 = diâmetros nas extremidades 1 e 2 do tronco, em cm;

L= comprimento do tronco, em m.

3.4.2 Densidade básica da madeira

A densidade básica média foi determinada de acordo com o método hidrostático, descrito por Vital (1984), mantidas em água até sua completa saturação

das fibras para obtenção de seu volume através do princípio de Arquimedes e sua massa a 0% de umidade.

$$Db = \frac{m}{v}$$

(2)

Onde:

Db= densidade básica;

m = massa anidra (g);

v= volume saturado (g).

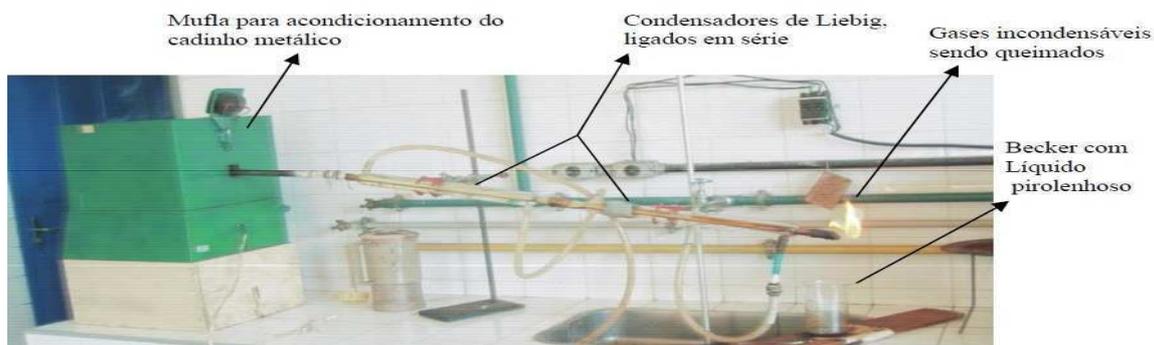
3.5 Carbonização em escala de laboratório

As carbonizações foram realizadas no Laboratório de Energia da Madeira do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Foram carbonizados em média 100g de cavacos a 0% de umidade previamente seca em estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, em fornos tipo mufla, com temperatura inicial ambiente até atingir temperatura máxima de 500°C , com permanência de 3h aproximadamente, perfazendo um total de 6 carbonizações por espécie.

Os gases foram conduzidos por um condensador tubular (Figura 4), com recolhimento do líquido pirolenhoso num recipiente e a liberação dos gases não condensáveis para a atmosfera.

Figura 4 — Forno elétrico tipo mufla utilizado nas carbonizações



Fonte – Saiter (2008)

3.5.1 Rendimentos gravimétricos

O rendimento gravimétrico foi determinado pela relação entre a massa do carvão produzido e a massa da madeira enforada, expresso em porcentagem, assim como a quantidade de líquido pirolenhoso condensado e por diferença os gases incondensáveis.

Após cada carbonização, tendo por base a matéria seca pirolisada, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão (RCV), rendimentos em gases condensáveis (RGC) e gases incondensáveis (RGI), conforme Equações 3;4 e 5, respectivamente.

$$\mathbf{RCV = (MCV/MI) * 100} \quad (3)$$

Onde:

RCV = Rendimento gravimétrico em carvão (%);

MCV = Massa do carvão obtido;

MI = Massa inicial da amostra enforada (g) a 0% de umidade.

$$\mathbf{RGC = (MGC/MI) * 100} \quad (4)$$

Onde:

RGC = Rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%);

MGC = Massa dos gases condensáveis;

MI = Massa inicial da amostra enforada (g) a 0% de umidade.

$$\mathbf{RGI = 100 - (RCV + RGC)} \quad (5)$$

Onde:

RGI = Rendimento gravimétrico em gases incondensáveis (%);

RCV = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%);

RGC = Rendimento em gases condensáveis (%).

3.6 Análises físicas do carvão vegetal

3.6.1. Densidade

A densidade aparente do carvão foi determinada com base na Norma MB ABNT 1269/79. O volume determinado através do princípio de Arquimedes, recomendado pela COPANT 461/72.

$$D_a = \frac{m}{v}$$

(6)

Onde:

Da= densidade aparente;

m = massa a 12% de umidade (g);

v= volume saturado (g).

3.6. 2 Poder calorífico

3.6.2.1 Poder Calorífico Superior

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado de acordo com a Equação de Goutal (Equação 7), utilizando os coeficientes do Quadro 2, conforme descrito por Adad (1982) *apud* Saiter (2008).

$$PCS = (82 * Cf + A.V)$$

(7)

Onde:

PCS = Poder calorífico superior, em Kcal/Kg;

Cf = porcentual de carbono fixo, em %;

V = porcentual de materiais voláteis, em %;

A= coeficiente cujo valor depende da relação: $V \div V + Cf$;

Quadro 2 – Coeficientes do Poder Calorífico Superior, para a fórmula de Goutal.

$V/(V+Cf)$	A
< 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

Fonte – Saiter (2008)

3.7 Análise química imediata

Efetuada com base na norma ASTM D-1764, adaptada por Oliveira et al. (1982). As amostras foram maceradas em pistolo de porcelanato (Figura 5). Em seguida os materiais foram classificados em peneiras Bertel com dois tipos de malha (crivo) um de 40 mesh e 60 mesh (Figura 6). A fração entre 40 e 60 mesh foi utilizada para análise química imediata, que retornou para estufa (105 ± 3 °C) por mais 24h. Dessa forma, foram determinados os teores de Matérias Voláteis (TMV), Cinzas (TCZ) e Carbono Fixo (TCF).

Figura 5 — Maceração do carvão vegetal



Fonte – Saiter (2008)

Figura 6 — Peneiras classificatórias de 40 mesh e 60 mesh



Fonte – Costa Júnior (2013)

3.8 Rendimento em carbono fixo

O rendimento em carbono fixo foi calculado a partir da multiplicação do rendimento gravimétrico pelo teor de carbono fixo Equação 8.

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

(8)

RCF = Rendimento em carbono fixo (%);

RCV = Rendimento em carvão vegetal;

TCF = Teor de Carbono Fixo (%).

3.9 Análises estatísticas

Utilizou-se Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com dois tratamentos (espécies) e seis repetições (árvores). Foram realizadas análises de variância, e teste de Tukey, adotando-se o nível de 95% de probabilidade quando necessário. Os dados foram processados utilizando o Programa de Assistência Estatística “ASSISTAT” versão 7.7 beta (2013), desenvolvido pela UFCG.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dendrométricas e densidade básica da madeira

Os valores médios das características dendrométricas e física: diâmetro à altura do peito (cm), altura (m), volume (m³) e densidade básica média ponderada (Kg/m³) das espécies estudadas são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 — Características dendrométricas e densidade básica da madeira.

Espécie	Árvore	DAP (cm)	Alt. Total (m)	Alt. Com (m)	V. Total cc (m ³)	V. Total sc (m ³)	DBMA (Kg/m ³)
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	15,4	24,3	24,0	0,22	0,19	505
	2	16,4	26,0	22,6	0,25	0,21	405
	3	14,6	22,7	19,7	0,16	0,13	425
	4	12,9	23,4	18,9	0,14	0,12	445
	5	14,6	23,7	20,6	0,18	0,13	430
	6	15,6	24,7	21,3	0,23	0,17	460
Média		14,9	24,1	21,1	0,19	0,15	445 a
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	13,2	20,7	14,8	0,09	0,07	460
	2	14,3	19,5	16,2	0,17	0,14	455
	3	14,2	19,3	16,0	0,12	0,10	460
	4	13,5	18,2	14,7	0,10	0,08	460
	5	16,2	21,7	18,4	0,16	0,13	445
	6	16,4	22,2	18,5	0,22	0,18	375
Média		14,6	20,2	16,4	0,14	0,11	442,5 a
CV (%)	---	---	---	---	---	---	7,7

DAP= diâmetro à altura do peito; Alt. Total= altura total; Alt. Com. = altura comercial; V. Total cc= volume com casca; V. Total sc= volume sem casca; DBMA= densidade básica média por árvore; CV= coeficiente de variação. Valores médios seguidos de mesma letra na respectiva coluna não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte – (COSTA JÚNIOR, 2013)

A espécie *Eucalyptus grandis*, em média, apresentou uma densidade básica da madeira de 445,0 Kg/m³ superior à espécie *Eucalyptus saligna* de 442,5 Kg/m³. No entanto, a diferença dos valores entre as espécies não foi significativa, valores estes corroborando com estudos realizados por Rodrigues (2011) ao analisar a densidade básica deste mesmo povoamento com 6,3 anos de idade, utilizando equipamento Pilodyn através do método não destrutivo. Os valores da DBM das

mesmas estão inseridos na faixa citada por Burger; Richter (1991) que variam de 130 a 1400 Kg/m³, para espécies florestais.

Os valores da DBM encontrados para as espécies estudadas são inferiores aos apresentados por Oliveira et. al (2010) para espécie *Eucalyptus pellita* F. Muell (558 Kg/m³), ao estudar espécies do gênero; em estudos com *Pinus* a densidade básica média obtida por Andrade (2006) variou de 348,2 Kg/m³ a 445,3 Kg/m³. Já espécies nativas da Caatinga, Oliveira (2003) obteve densidade básica de espécies florestais variando de 683,81 Kg/m³ a 929,47 Kg/m³, e Vale et al. (2010) para espécies do Cerrado densidade variando de 580 Kg/m³ a 820 Kg/m³.

Belini et al. (2008) usando cavacos de madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial, observou densidade básica de 0,4 g/cm³ para diversas amostras, sem existência de diferença estatística demonstrando a homogeneidade do material ao se determinar a densidade básica, sendo os valores neste estudo similares ao de Belini et al. (2008). Já Alzate (2004) apud Belini et al. (2008) para árvores de 7 anos de idade encontrou valores superior estatisticamente.

4.2 Rendimento gravimétrico e análise química imediata do carvão

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 de carbonizações das duas espécies avaliadas.

Tabela 2 - Rendimentos gravimétricos médio, numa temperatura de 500 °C.

Espécie	RCV (%)	RGC (%)	RGI (%)
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill (ex Maiden)	23,45 b	45,41 ^a	31,14 a
<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	25,70 a	42,27 b	32,10 a

RCV= rendimento em carvão vegetal; RGC= rendimento em gases condensáveis; RGI = rendimento em gases incondensáveis.

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

Fonte – (COSTA JÚNIOR, 2013)

O rendimento gravimétrico em carvão apresentado pela espécie *Eucalyptus grandis* foi de 23,45%, já para *Eucalyptus saligna* foi de 25,70%, havendo diferença significativa.

Dentro de certos limites técnicos e para uma mesma espécie vegetal, quanto maior a temperatura máxima de carbonização menor o rendimento gravimétrico em carvão, resultando da maior emissão de gases na atmosfera, em razão do maior tempo exposto aos efeitos degradantes da energia térmica (ANDRADE; CARVALHO, 1998). Diversos autores relatam haver uma relação significativa entre o rendimento gravimétrico em carvão e a temperatura máxima de carbonização (BRITO, 1990; ANDRADE, 1993; NOGUEIRA et al, 2000).

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 *Eucalyptus saligna*, quando comparado para o *Eucalyptus grandis*, havendo diferença significativa, verificando assim a influência das espécies.

Observou-se que no intervalo entre 350 °C a 500 °C houve um aumento no rendimento em gases não condensáveis, o que confirma a tese 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.

Os rendimentos em líquido pirolenhoso e em gases não condensáveis são afetados principalmente pela densidade básica da madeira e sua constituição química, assim como os meios de produção. Os valores médios encontrados neste trabalho (Tabela 2) não se assemelham aos observados por Reis et al. (2012) ao estudar *Eucalyptus urophylla* produzidos na temperatura final de 450 °C, já os rendimentos em gases se assemelham entre si. Esse resultado é um indicativo da elevada influência dos parâmetros do processo de carbonização nessas variáveis, uma vez que a idade da madeira carbonizada difere daquela utilizada neste trabalho.

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 analisados.

Tabela 3 – Análise química imediata e rendimento em carbono fixo.

Espécie	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	RCF (%)
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill (ex Maiden)	6,25 b	2,5 a	91,25 a	20,50 b
<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	12,08 a	2,5 a	85,41 b	21,42 a

TMV= teor de materiais voláteis; TCZ= teor de cinzas; TCF = teor de carbono fixo; RCF = rendimento em carbono fixo.

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

Fonte – (COSTA JÚNIOR, 2013)

A ação da energia térmica proporciona a extração de compostos voláteis presentes na madeira, quando submetidos a temperaturas mais elevadas aumenta significativamente a liberação de gases. O teor de materiais voláteis médio foi igual a 6,25% e 12,08% para *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente, (Tabela 3), valor este inferior aos valores encontrados por Trugilho et al (2005), que utilizaram temperatura final de carbonização de 450 °C, e encontraram valores médios de materiais voláteis variando de 27,29% a 32,66% para o carvão vegetal de híbridos do *Eucalyptus urophylla* com o *Eucalyptus grandis*, com o *Eucalyptus camadulensis* e com o *Eucalyptus tereticornis*. Esse resultado é um indicativo do potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal produzido, uma vez que quanto maior o teor de materiais voláteis menor será o teor de carbono fixo do carvão vegetal e mais rapidamente o carvão vegetal será consumido no alto forno siderúrgico.

4.3 Densidade do carvão vegetal

O carvão produzido com as espécies estudadas apresentaram densidade média relativa aparente de 0,35 g/cm³ e 0,34 g/cm³, respectivamente. Segundo Rocha (2011), não havendo prejuízo para as outras propriedades, a densidade do carvão deve ser a maior possível para que esse biocombustível apresente alta resistência mecânica e elevada densidade energética. São relatados na literatura valores médios de densidade aparente do carvão vegetal variando de 0,266 a 0,491 g/cm³ para o carvão vegetal de vários clones e espécies de *Eucalyptus* (TRUGILHO et al., 2001; TRUGILHO et al., 2005; BOTREL et al., 2007; FREDERICO, 2009;

OLIVEIRA et al., 2010; NEVES et al., 2011; SANTOS et al., 2011; ROCHA, 2011), corroborando com o observado neste estudo.

4.3.1 Estimativa do poder calorífico superior

Os valores para poder calorífico superior médio foi igual a 8351 Kcal/Kg e 8491 Kcal/Kg, para o carvão de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente, (Tabela 4), quando fazendo uso da equação de Goutal.

Tabela 4 – Parâmetros físicos da madeira e do carvão vegetal.

Espécie	DBM (g/cm³)	DRAC (g/cm³)	PCS (Kcal/Kg)
<i>Eucalyptus grandis</i> Hill (ex Maiden)	0,44 a	0,35 a	8351 a
<i>Eucalyptus saligna</i> Smith	0,44 a	0,34 a	8491 a

DBM= densidade básica da madeira; DRAC= densidade relativa aparente do carvão; PCS = poder calorífico superior.

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

Fonte – Costa Júnior (2013)

Se tratando do poder calorífico superior (ROCHA, 2011; REIS et al., 2012) encontraram valores inferiores a este estudo variando de 7086 a 7900 Kcal/Kg para carvão vegetal de Eucalipto, utilizando a NBR 8633. Isso ocorreu provavelmente em função das características do processo, bem como da composição química da madeira e, conseqüentemente, do carvão vegetal.

A partir da análise química imediata do carvão vegetal, em função do teor de carbono fixo, pode-se obter um valor mais alto do poder calorífico superior, sendo este tipo de correlação de grande importância para fins de análises energéticas, porém para este estudo utilizando a equação de Goutal não obteve correlações. Petroff ; Doat (1975) *apud* Torres Filho (2005), ao estudar carbonizações de espécies de eucalipto, em escala de laboratório, fizeram correlações entre o poder calorífico superior e o teor de carbono fixo, em função do teor de carbono fixo; cinzas; materiais voláteis e cinzas, existindo correlações entre si utilizando a equação de Goutal.

Estudos realizados pela Fundação Tecnológico de Minas Gerais, publicados por Mendes et al. (1982), mostram que o poder calorífico do carvão vegetal varia de acordo com a temperatura de carbonização, onde os carvões produzidos a uma temperatura de 500° C tem um poder calorífico superior do que os produzidos a 300 ° C e 700°C, corroborando com este estudo.

5 CONCLUSÕES

A densidade básica média encontrada para as madeiras das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* foram 445 Kg/m³ e 442,5 Kg/m³ respectivamente. Tais médias não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

O *Eucalyptus grandis* apresentou rendimento gravimétrico médio de 23,45% e *Eucalyptus saligna* de 25,7%, embora não tenha ocorrido diferença significativa entre as densidades básicas, houve diferenças em seus rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, que deve estar relacionado às propriedades químicas como teor de extrativos, lignina.

O poder calorífico superior médio foi de 8351 Kcal/Kg e 8491 Kcal/Kg, para o carvão de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente, não havendo diferenças significativas a 5% de probabilidade. Isso ocorreu provavelmente em função das características do processo, bem como da composição química da madeira e, conseqüentemente, do carvão vegetal.

O carvão de *Eucalyptus grandis* apresentou maiores teores de carbono fixo e menores teores de materiais voláteis e rendimento em carbono fixo. As espécies em estudo não apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade em teores de cinzas, densidade aparente, e poder calorífico. Esse resultado demonstra o potencial energético das espécies estudadas, com indicativo de melhores características do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*, uma vez que quanto menor o teor de materiais voláteis maior será o teor de carbono fixo do carvão vegetal, característica desejável para utilização em alto forno siderúrgico.

Com o uso de florestas plantadas ocorrerá racionalização dos recursos florestais, podendo ser uma alternativa econômica para empresas e agricultores que ainda não utilizam desta prática, pois apresentam um baixo valor de aquisição quando comparado a de espécies nativas, aumentando assim a geração de empregos; redução dos desmatamentos ilegais, contribuindo com o ambiente.

REFERÊNCIAS

ABRACAVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL. **Anuário estatístico**. Belo Horizonte, 12p. 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.1p. 24-42, 1998.

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

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* I: influência da idade e classe de produtividade**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 94f. 2006.

ANDRADE, E. N. **O Eucalipto**, Jundiaí, 2.ed., Cia. Paulista de Estradas de Ferro, 667 p., 1961.

ANDRADE, C.R. **Espectroscopia no infravermelho próximo para prever propriedades da madeira e do carvão vegetal de plantio clonal de *Eucalyptus* sp.** Dissertação (Mestrado em Ciência da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 121f. 2009.

ARANTES, M.D.C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 149f. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2011. Ano base 2010**. Brasília. 130p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **Norma MB 1269/79**. Rio de Janeiro. 80p. 1979.

ASSIS, O.C.; TRUGILHO, F.P.; MENDES, M.L.; SILVA, M.R.J.; LIMA, T.J. Sistema alternativo para carbonização de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 133-140, jun. 2008.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS. **Números do setor**. Belo Horizonte: AMS, 2009. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/dosumentos.php?t=A>>. Acesso em: 24 jul. 2013.

BALANÇO DE ENERGIA NACIONAL - BEN. **Oferta Interna de Energia**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf> . Acesso em: 10 de maio de 2011.

BELINI, L.U.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, P.M.; DIAS, C.T.S. Caracterização das estruturas anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.32, p. 707-713, 2008.

BOTREL, M.C.G.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; SILVA, J.R.M. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**. p. 391-398, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000300004>

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood Science. An Introduction**. New York: Blackwell Publishing, 554p. 2003.

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Piracicaba, SP, Documentos Florestais, v. 9, 14p. 1990.

BRITO, J.O; BARRICHELO, L.E.G; MURAMOTO, M.C; COUTO, H.T.Z. Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente. **Circular Técnica**. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, n. 150. 1982.

BURGER, L. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 154 p.1991.

CALEGARI, L; FOELKEL, C.E. B; HASELEIN, C.R; ANDRADE, J.L. S; SILVEIRA, P; SANTINI, E.J. Características de Algumas Biomassa Usadas na Geração de Energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 37-46, 2005.

CARDOSO, M. T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 89f. 2010.

CAMPOS, A.C.M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirolise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 128f. 2008.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMA TÉCNICAS. **Maderas: método de determinacion del peso especifico aparente. (COPANT- 461)**. Caracas, 1972.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. STATISTICS, **FAO** 2010. Acessado em 09 de setembro de 2013. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor>

FREDERICO, P.G.U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 75p. 2009.

KLAUTAU, J.V.P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorente Para Secagem de Grãos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UPR. Curitiba, 192f. 2008.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do Eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 302 p. 1993.

MACHADO, M.R. **Plantios florestais na Amazônica Central: biometria, ciclagem bioquímica e alterações edáficas**. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Federal do Amazonas, Manaus - AM, 54f. 2008.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. V.6, n.1, p. 121-126, Recife – PE, 2011.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.

MEDEIROS, X.J. AZEVÊDO, B.K.; ALMEIDA, C.M.A.; BRITO R.H.; LIMA, S.F.; OLIVEIRA, E. Avaliação da densidade da madeira de *Piptadenia stipulacea* ((Benth) Ducke) e *Amburana cearensis* Para utilização como potencial energético. II **CONEFLOR**, p.4, 2009.

MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológica de Minas Gerais, p.75-90, 1982.

NEVES, T.A.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**. p. 319-330, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.319>

NOGUEIRA, M.F. M. **Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa**. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007. Disponível em: http://redenacionaldecombustao.org/escoladecombustao/arquivos/EDC2007/Apostila_EDC2007-biomassa.pdf

NOGUEIRA, M.F. M; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. BARRETO, E. J. F. (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia. p. 52-63. 2008.

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

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília, DF: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 144p. 2000.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, MG, 122 p. 2003.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M. G. GOMES, P. A. **A Produção de Carvão Vegetal – Aspectos Técnicos**. Produção e Utilização de Carvão Vegetal, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, p. 54-74. 1982.

OLIVEIRA, A.C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W; CORRADI, B.L.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; MENDES, M. G. Otimização do processo de carbonização da madeira e do coco babaçu em fornos de alvenaria. **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, propriedades, controle e qualidade**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. p. 103-130. 1982.

OLIVEIRA, J.B; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade de carvão vegetal. **Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. p. 9-38.1982.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, jun-ago 2008.
Disponível em: <<http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/flo/34/>> Acesso em: 25 de junho de 2013.

PINHEIRO, P.C.C.; FIGUEIREDO, F.J.; SEYE, O. Influência da temperatura e da taxa de aquecimento da carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Biomassa e Energia**, v.2, n.2, p. 159-168,2005.

QUEIROZ, M.M. **Comportamento de Espécies de Eucalyptus em Paty do Alferes, RJ**. Monografia (Instituto de Florestas) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p. 27, 2007.

QUIRINO, W. F. **Utilização Energética de Resíduos Vegetais**. Brasília: Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento – FUNTEC, Laboratório de Produtos Florestais – IBAMA, 35p. 2003.
Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em: 27 de junho de 2011.

REIS, A.A.; MELO, I.C.N.A.; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILHO, P.F.; CARNEIRO, A.C.O. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake. **Floresta e Ambiente**. P. 497 – 505, 2012.

REZENDE, J.B.; SANTOS, A.C.D. A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades. Viçosa: EPAMIG. **Boletim Técnico**, n. 95, 80p. 2010.

RIBEIRO, P. G.; VALE A. T. (2006), Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Florianópolis. **Anais**. Universidade Federal do Paraná, 2006.

RODRIGUES, L.F. **Eficiência do pilodyn para a seleção de materiais genéticos de eucalipto para fins energéticos**. Monografia (Instituto de Florestas) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p. 30, 2011.

ROCHA, M.F.V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 84 f. 2011.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; CASTRO, R.V.O.; BIANCHE, J.J.; CARDOSO, M.T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**.p.221-230, 2011.

SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canéfora* Var. Conilon**. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 29 f.2008.

SANTOS, R.C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 173 f. 2010.

SANTOS, S.F.O.M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Produção**. V. 22, n – 2, p. 309-321, mar./abr. 2012.

SANTOS, E.C.S.; SOUZA, R.C.R.; SILVA, E.P. Elementos contemporâneos que criam oportunidade para o uso de biomassa lenhosa para fins energéticos na Amazônia. **Revista Brasileira de Energia**. p. 55-69, 2005.

SOUZA, S. N. M; SORDI, A.; OLIVA, C. A. Potencial de energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. **SciELO**, Campinas – SP, 2002.

Disponível:<http://www.proceedings.scielo.br.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200042&lng=en&nrm=abn>. Acesso em 27 Set. 2013.

STURION, J. A.; BELLOTE, A. F. J. Implantação de povoamentos florestais com espécies de rápido crescimento. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Embrapa Florestas, p. 209 – 219. 2000.

TORRES FILHO, A. **Viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos de madeira para produção de um combustível alternativo**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 107f. 2005.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; LINO, A.L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p. 104-114,2001.

TRUGILHO, P.F.; SILVA, J.R.M.; MORI, F.A.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; MENDES, L.F.B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n.2 p. 178-186,2005.

VALE, A.T.; DIAS, I.S.; SANTANA, M.A.E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 137-145, 2010.

VIEIRA, A.C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 72p. 2012.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. In: **Boletim técnico SIF – 01**. Viçosa: MG, 21 p. 1984.