



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SILVICULTURA**

**ANÍSIO FERREIRA TOSATO; NAYARA NAZARÉ MARTINS DA COSTA;
RÔMULO ALCINO BARBOSA SOUSA**

**COLETOR DE LÍQUIDO PIROLENHOSO ADAPTADO PARA CARBONIZAÇÃO
EM FORNO RABO QUENTE**

SÃO JOÃO EVANGELISTA – MG

JUNHO DE 2009

**ANÍSIO FERREIRA TOSATO; NAYARA NAZARÉ MARTINS DA COSTA;
RÔMULO ALCINO BARBOSA SOUSA**

**COLETOR DE LÍQUIDO PIROLENHOSO ADAPTADO PARA CARBONIZAÇÃO
EM FORNO RABO QUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura, do IFMG – Campus São João Evangelista – MG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Silvicultura.

SÃO JOÃO EVANGELISTA – MG

JUNHO DE 2009

T713e

TOSATO, Anísio Ferreira.

Coletor de líquido pirolenhoso adaptado para carbonização em forno rabo quente / Anísio Ferreira Tosato; Nayara Nazaré Martins da Costa; Rômulo Alcino Barbosa Sousa; São João Evangelista, MG: IFMG - Campus São João Evangelista, 2009. 37p.

Monografia (graduação) apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista, Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura, 2009. Orientador: Fabricio Gomes Gonçalves

1. Condensado pirolenhoso. 2. Forno rabo quente. 3. Carvão vegetal
4. Poluição ambiental I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus São João Evangelista. Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura. II. Título.

CDD 634.981

**ANÍSIO FERREIRA TOSATO; NAYARA NAZARÉ MARTINS DA COSTA;
RÔMULO ALCINO BARBOSA SOUSA**

**COLETOR DE LÍQUIDO PIROLENHOSO ADAPTADO PARA CARBONIZAÇÃO
EM FORNO RABO QUENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura, do IFMG – Campus São João Evangelista – MG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Silvicultura.

Aprovada, em ____ de _____ de 2009.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Msc. Fabricio Gomes Gonçalves - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista (Orientador).

Prof^a Esp. Ana Carolina Ferraro - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista.

Aos nossos pais que não mediram sacrifícios, incentivos, apoio e amor para a conquista desse título.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, pelo amor incondicional e proteção divina da alma.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Campus São João Evangelista, pela oportunidade da realização deste curso de graduação.

Ao Professor Fabricio Gomes Gonçalves, pela orientação, paciência e ensinamentos.

Aos Professores, Coordenação e Administrativos do Curso Superior de Tecnologia em Silvicultura, pelos esforços que tiveram na jornada do ensinamento.

A família Toshiba e funcionários, pela grande disposição em ajudar, ceder o local, material e mão-de-obra para a realização do experimento.

Aos funcionários do Setor de Transporte do IFMG - Campus São João Evangelista, pelo importante apoio logístico que prestaram no decorrer do experimento.

Aos funcionários da Marcenaria do IFMG - Campus São João Evangelista.

Ao Departamento de Administração e Finanças do IFMG - Campus São João Evangelista, pelo financiamento da execução do experimento.

Aos colegas da turma 062, pelo incentivo e cooperação que foram prestados no decorrer do experimento, em especial aquele que literalmente botou a mão na massa com a gente como Claudiomir.

"O valor dos grandes homens mede-se pela importância dos serviços prestados à humanidade".
(VOLTAIRE)

TOSATO A. F; COSTA da N. N. M; SOUSA R. A. B. **Coletor de líquido pirolenhoso adaptado para carbonização em forno rabo quente**; São João Evangelista, MG: IFMG - Campus São João Evangelista, 2009. 37p. Orientador: professor Fabrício Gomes Gonçalves.

RESUMO

Foi avaliada a eficiência de um tubo de zinco com 8 metros de comprimento acoplado na porção inferior de um forno “rabo quente” próximo aos tatus para o resfriamento da fumaça e conseqüente coleta do líquido pirolenhoso, mantendo-se o método tradicional de carbonização. O resultado foi conferido a partir da quantificação em porcentagem do líquido pirolenhoso coletado em relação à quantidade total de lenha empregada na carbonização. O tubo contou com sistema de fechamento independente tipo “borboleta” a 0,45 metros da extremidade inferior, com o diâmetro interno variando 0,30 metros a 0,10 metros. O forno foi construído com capacidade aproximada de 12,4m³ de lenha, produzindo uma média de 1.100kg de carvão vegetal e 110kg de líquido pirolenhoso após cinco bateladas. O coletor mostrou-se eficiente para a coleta do líquido pirolenhoso, no entanto necessita de alguns ajustes. A fração coletada permite seu aproveitamento na própria propriedade, como preservativo natural em madeiras, ou ainda posterior comercialização, além de reduzir a quantidade de poluentes lançados para a atmosfera. O carvão vegetal resultante das cinco bateladas após caracterização apresentou características químicas satisfatórias, principalmente em função do elevado teor de carbono fixo e baixo teor de cinzas.

Palavras chave: Condensado pirolenhoso, “forno rabo quente”, carvão vegetal, poluição ambiental.

TOSATO A. F; COSTA da N. N. M; SOUSA R. A. B. **Collector of pirowood liquid adapted for carbonization in “rabo quente”**; São João Evangelista, MG: IFMG - Campus São João Evangelista, 2009. 37p. Orientates: Teacher Fabricio Gomes Gonçalves.

ABSTRACT

The efficiency was evaluated of a tube of zinc with 8 meters long attached in the lower portion of a furnace “rabo quente” next to armadillos for the cooling of smoke and the consequent collection of pyrowood liquid, while the traditional method of carbonization. The result was confirmed considering the amount in percentage of pyrowood collected in relation to the total amount of firewood used in the carbonization. The tube had independent, closed system type "butterfly", to 0.45 meters from the bottom, with internal diameter varying from 0.30 meters to 0.10 meters. The furnace was built with a capacity of approximately 12.4m³ of firewood, producing an average of 1,100kg of vegetal charcoal and 110kg pyrowood liquid after five carbonizationes. The collector was efficient for the collection of pyrowood liquid, however requires some adjusts. The fraction collected allows its use in the property, as natural preservative in wood, and reduce the amount of pollutants released into the atmosphere. The resultant vegetal charcoal of the five carbonizationes, after characterization it presented characteristic satisfactory chemistries, mainly in function of the raised fixed carbon amount and low leached ashes amount.

Key words: Condensed pyrowood, surface kilns, charcoal, environment pollution.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	CARVÃO VEGETAL NO BRASIL.....	11
2.2	PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL.....	12
2.3	FORNO RABO QUENTE.....	13
2.4	LÍQUIDO PIROLENHOSO.....	14
2.5	EUCALIPTO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	18
3.2	CONSTRUÇÃO DO FORNO RABO QUENTE.....	19
3.3	CONSTRUÇÃO DO TUBO COLETOR E INSTALAÇÕES.....	20
3.4	ENCHIMENTO DO FORNO RABO QUENTE.....	23
3.5	ANÁLISE QUÍMICA DO CARVAO VEGETAL.....	24
3.5.1	Teor de umidade.....	26
3.5.2	Teor de material volátil.....	27
3.5.3	Teor de cinzas.....	28
3.5.4	Teor de Carbono Fixo.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A busca por um melhor aproveitamento da biomassa florestal tem aumentado dia após dia, isso decorre de questões econômicas, sociais, ambientais, e climáticas que ameaçam a qualidade de vida no planeta.

Como afirma Scarpinella (2002), tais desequilíbrios são causados pelo aumento da concentração atmosférica de gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), liberados em atividades como a carbonização da biomassa vegetal.

As florestas têm um importante papel na retirada de CO_2 da atmosfera e na sua fixação na superfície do planeta contribuindo para a qualidade de vida terrestre. No entanto, as florestas plantadas, na sua grande maioria, como é o caso do eucalipto, serão cortadas, com isso, deve-se considerar o fim que será dado a madeira (JACOVINE *et al.*, 2008).

A cadeia produtiva florestal brasileira está dividida em dois grandes grupos, segundo a destinação dos produtos: indústria da base florestal, que integra os subsetores de serrados, e a produção de madeira para fins energéticos (PEREIRA; SANTOS, 2008).

O problema é que a maior parte dessa produção energética responsável pela siderurgia brasileira, segundo Silva (2006), deriva-se de métodos de carbonização considerados antigos, ineficientes e poluidores, o que faz necessário a busca por melhor aproveitamento da biomassa florestal, recuperando além do produto principal da carbonização, o carvão vegetal, a fração condensável, tornando a carbonização mais rentável e menos danosa ao meio ambiente.

Os objetivos deste trabalho são avaliar a eficiência de um coletor de líquido pirolenhoso em um forno de alvenaria, artesanal, modelo rabo quente e a qualidade do carvão vegetal produzido no mesmo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O controle do efeito estufa é fundamental para continuidade da vida na terra. No entanto, o aumento significativo das temperaturas e a ocorrência de certos fenômenos climáticos com maior frequência têm preocupado a sociedade. Esse aquecimento global é resultado de grande concentração de gases oriundos principalmente das atividades antrópicas, como a carbonização da biomassa florestal. Segundo *Jacovine et al.* (2008) a queima de material lenhoso durante a carbonização contribui para o aumento do efeito estufa, uma vez que libera dióxido de carbono (CO₂), o qual representa 55% de todo o gás lançado para a atmosfera.

2.1 CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

Na classificação mundial de produção de carvão vegetal, o Brasil é um dos maiores produtores, sendo, segundo ABRAF (2009), também um dos maiores consumidores com produção anual em 2008 de 17.890.000 MDC em 2008, cabendo-lhe o título de único produtor de ferro-gusa a carvão vegetal do mundo (DELEPINASSE, 2002). Minas Gerais, o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país, abriga o maior parque siderúrgico da América Latina e tem na atividade carvoeira uma das maiores geradoras de mão-de-obra e significativa fonte de renda para a economia (GUIMARÃES NETO, 2005).

Sendo o carvão vegetal o principal produto da siderurgia e o Brasil exportando cerca de 40% da sua produção de aço bruto, fica claro que as perspectivas para a indústria de carvão vegetal estão ligadas às perspectivas mundiais (COSTA, 2003).

Com todo esse comércio a atividade carvoeira tornou para muitos, pequenos produtores, uma oportunidade de complementação de renda, tornando a preocupação com a subsistência geralmente prioritária em relação às questões ambientais (SILVA, 2006).

Sendo assim, visando melhorias tanto econômicas quanto tecnológicas dos processos utilizados para produção de carvão vegetal no Brasil, Bastos Filho (1986) afirma que há avanços nos estudos em torno de novas técnicas para a otimização

da produção de carvão vegetal e de demais produtos de carbonização, como o líquido pirolenhoso. Entretanto, o carvão vegetal brasileiro ainda é fabricado, em sua grande maioria, como a um século atrás, de maneira quase artesanal, utilizando métodos inadequados para uma eficiente utilização da biomassa florestal.

2.2 PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

A produção de carvão vegetal é o mais antigo processo de transformação química para a utilização da madeira (GOMES; OLIVEIRA, 1982).

Segundo Vale; Gentil (2008), a madeira não se queima diretamente; primeiro ocorre uma degradação térmica ou pirólise, onde são formados alguns produtos: gases combustíveis e vapores condensáveis. Esse processo de pirólise lenta tem como objetivo eliminar a maior parte do oxigênio e do hidrogênio pela ação do calor e com isso possibilitar a concentração de carbono no carvão vegetal.

O método de carbonização segundo Gomes; Oliveira (1982), influência na qualidade do carvão produzido, isto é, a carbonização lenta quebra menos o carvão que os métodos rápidos, o que é um ponto a favor dos fornos de alvenaria.

Segundo Brito (1990), existem dois tipos de sistemas de produção de carvão vegetal: sistemas com fonte interna de calor ou por combustão parcial e sistemas com fonte externa de calor.

Dentre os tipos de fornos para a fabricação do carvão com fonte de calor interna, os mais conhecidos são: forno de chaminé, forno rabo quente e forno de superfície. E para fabricação de carvão com fonte externa de calor, a carbonização é feita em cilindros metálicos verticais (CETEC, 1982).

O processo de carbonização ocorre, segundo Ferreira (2000), em quatro fases. A primeira corresponde à secagem da madeira, através da vaporização da água absorvida por higroscopia, da água presente nas paredes das células e da água quimicamente ligada. Na segunda fase ocorre a pré-carbonização, fase esta, ainda endotérmica, onde já se obtém líquido pirolenhoso e uma pequena quantidade de gases não condensáveis. Na terceira fase a reação é rápida e exotérmica, na qual parte da madeira é carbonizada e a maior parte do alcatrão solúvel e líquido

pirolenhoso são liberados. Na quarta e última fase ocorre a carbonização final, com formação da maior parte do carvão vegetal.

Além do carvão vegetal alguns produtos podem ser identificados e quantificados como subprodutos da carbonização, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Produto e subprodutos oriundos da carbonização da madeira.

Produto e subprodutos da Carbonização	% Base Seca
Carvão (80% Carbono Fixo)	33,0
Ácido Pirolenhoso	42,0
Ácido Acético	5,0
Metanol	2,0
Alcatrão Solúvel	5,0
Água e Outros	23,5
Alcatrão Insolúvel	6,5
Gases não condensáveis	25,0
Hidrogênio – 0,63%	0,16
CO – 34%	8,5
CO ₂ – 62%	15,5
Metano – 2,43%	0,61
Etano – 0,13%	0,03
Outros – 0,81%	0,20
Total	100

Fonte: adaptado de Santos (2007).

2.3 FORNO RABO QUENTE

O carvão vegetal brasileiro é, segundo Santos (2007), predominantemente produzido em fornos de alvenaria, comumente chamados de fornos rabo quente, isso devido a viabilidade econômica e a simples construção. Esses fornos, de acordo com o tamanho podem carbonizar diferentes volumes de lenha. Apesar de serem mais baratos e fáceis de construir apresentam baixos rendimentos gravimétricos (PIMENTA, 2002¹ apud COLOMBO; HATAKEYAMA, 2007).

Segundo o mesmo autor os fornos do tipo rabo quente realizam o ciclo da carbonização a cada seis ou sete dias, podendo chegar a dez dias se a umidade da lenha for elevada. Esse ciclo engloba o acendimento da lenha enfiada, o controle da entrada de ar, quando ocorre efetivamente a carbonização, e finalmente a total

¹ Pimenta, Alexandre Santos. Curso de atualização em carvão vegetal. Apostila, documento interno. –Viçosa: UFV/DEF, 2002.

vedação do forno para o resfriamento, possibilitando assim que o carvão seja retirado sem risco de ignição ao entrar em contato com o ar.

O forno rabo quente requer mão-de-obra experiente, não havendo necessidade de equipamentos sofisticados (COSTA, 2003). Segundo Santos (2007), no processo de carbonização nesse tipo de forno o controle da temperatura, a determinação do perfil térmico, o rendimento volumétrico e gravimétrico, a qualidade da lenha e controle da qualidade do carvão vegetal (densidades, análise química imediata e poder calorífico) são feitos de forma empírica, dependendo principalmente, da experiência do carvoeiro. O mesmo autor menciona ainda que o tempo de carbonização é determinado pela coloração da fumaça que sai dos orifícios do forno e que a qualidade do carvão é geralmente determinada pelos compradores, devidamente qualificados para tal.

Os fornos do tipo rabo quente e outros de diferentes geometrias, são pequenos, simples e baratos. De acordo com Sampaio (2008), quando bem gerenciados e operados dentro do sistema de peso seco de madeira e carvão, com auxílio de medições de temperatura, são tão eficientes quanto os fornos retangulares parcialmente mecanizados utilizados por grandes empresas do setor.

2.5 LÍQUIDO PIROLENHOSO

A divulgação das primeiras pesquisas com o líquido pirolenhoso, segundo Campos (2007), aconteceu no Japão por volta de 1874, porém somente após a Segunda Guerra Mundial, pode ser observada sua utilização em lavouras de arroz, sendo utilizado contra pragas e pássaros e no processo de compostagem e esterilização. Embora o líquido pirolenhoso tenha sido usado em lavouras nas comunidades de carvoeiros muito antes desta data, no Brasil sua utilização na agricultura é recente.

De acordo com pesquisas feitas no Japão e com base em observações realizadas na prática junto a agricultores, o líquido pirolenhoso, segundo Miyasaka *et al.* (2001), repele determinados tipos de pragas e previne algumas doenças de cultivos. Pode também, em determinadas condições combater infestações de pulgões, trips, ácaros, mosca das frutas e outras pragas, ou ainda exercer função de

repelir pássaros, morcegos e roedores. Outros benefícios do líquido pirolenhoso podem ser constatados quando adicionado a extratos vegetais de alho, mucuna, pimenta, nim, proporcionando melhorias no efeito no controle de pragas e doenças destacando-o na agricultura orgânica e natural (GLASS, 2001). Segundo o mesmo autor além dessas vantagens o interesse pelo produto é decorrente do seu reduzido nível de toxidez a humanos e outros animais, protegendo, dessa forma, a saúde do agricultor, bem como a do consumidor. Outra vantagem do produto é que, por apresentar pH baixo, atua como catalisador dos defensivos químicos ácidos quando misturado a eles, podendo reduzir em até 50% o volume desses produtos sem prejuízo na eficiência.

Em trabalho realizado com líquido pirolenhoso associado a finos de carvão vegetal, incorporado a substratos para produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa*, Sakita; Porto; Nakaoka Sakita (2007) afirmam que o mesmo proporcionou resultados satisfatórios para a germinação e desenvolvimento inicial, além de alongamento da raiz principal e aumento no volume de raízes secundárias.

Segundo Mascarenhas *et al.*, [21-], o líquido pirolenhoso ao ser pulverizado sobre partes aéreas das plantas torna-as mais vigorosas; aos frutos proporciona melhorias quanto ao tamanho, coloração, sabor e durabilidade; aplicado ao solo, melhora as suas qualidades físicas, químicas e especialmente biológicas, proporcionando aumento de microorganismos benéficos; além de acelerar o processo da decomposição no preparo de composto orgânico e diminuir a emissão de gás amoníaco.

Na indústria florestal, porém, o líquido pirolenhoso tem a sua mais antiga aplicação na proteção da madeira contra agentes deterioradores. O creosoto vegetal, em virtude de seu caráter fenólico, é eficiente contra fungos e insetos xilófagos (PAES *et al.*, 2002).

Indiretamente, a quantidade e as propriedades do líquido pirolenhoso refletem as características químicas, físicas e anatômicas da madeira. Assim, devido a enorme variedade de espécies florestais existentes, há uma grande variação nos resultados obtidos, tanto em termos quantitativos como qualitativos (ANDRADE; 1998).

O alcatrão proveniente da carbonização de madeira de *E. cloeziana*, sem fracionamento, mostra-se reativo em solos, promovendo ganhos na capacidade de suporte dos mesmos no estado natural (FERNANDES *et al.*, 2002).

No Brasil o decreto-lei n. 7.404 - de 22 de março de 1945 anexo VIII, decreta que o uso do extrato de fumo, piretro, rotenona e azadiractina naturais, para uso em qualquer parte da planta, deverá ser autorizado pelo OAC ou pela OCS sendo proibido o uso de nicotina pura. No anexo VI do mesmo decreto fica proibido o uso de extrato pirolenhoso. Esse decreto-lei foi reafirmado no anexo VI pela instrução normativa nº 64 de 18 de dezembro de 2008.

2.6 EUCALIPTO COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil segundo a Associação Mineira de Silvicultura (2009), no início do século XIX, com evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Depois de sua implantação o gênero *Eucalyptus* ganhou um espaço significativo na economia brasileira, destacando-se na produção de carvão vegetal.

A densidade básica da madeira é uma propriedade importante dentre as características da madeira para identificar espécies produtoras de carvão de boa qualidade, uma vez que madeira com maior densidade produz carvão com densidade aparente maior. Essa característica confere ao carvão maior resistência mecânica e maior capacidade calorífica por unidade de volume (PEREIRA *et al.*, 2000).

A lignina é o componente estrutural da madeira mais importante na produção de carvão vegetal, pois tem implicações diretas no rendimento gravimétrico e no teor de carbono fixo. O teor de lignina influencia positivamente o rendimento gravimétrico em carvão e o teor de carbono fixo do carvão, e negativamente os voláteis e as cinzas (SANTOS, 2008).

De acordo com Oliveira; Hellmeister (1998) a madeira de *E. cloeziana* é levemente pesada, de elevada estabilidade dimensional e de média permeabilidade, caracterizada de alta durabilidade natural. É utilizada em serraria, caixotaria, dormentes, postes, mourões, lenha e principalmente para produção de carvão vegetal.

O *E. cloeziana* possui densidade básica entre 0,680 a 0,692g.cm⁻³. Teor de lignina de 27,6%, apresentando ainda os seguintes rendimentos a partir da

destilação seca: rendimento em carvão de 29,3% a 33,7%; rendimento em licor pirolenhoso 42,0%; e rendimento em gases não condensáveis 24,3% (PEREIRA *et al.*, 2000). Os mesmos autores encontraram um teor de carbono fixo entre 88,7% a 86,8%, teor de voláteis entre 10,8% a 12,9%, teor de cinzas entre 0,3% a 0,5% e poder calorífico superior por volta de 7.748cal.g^{-1} para esta espécie.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução da pesquisa foi carbonizada, em forno de alvenaria tipo rabo quente, lenha de *E. cloeziana* oriunda de reflorestamento com 6,5 anos existente em uma propriedade rural.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O presente estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural produtora de carvão vegetal pertencente à família Toshiba. A propriedade está localizada no município de Peçanha, Estado de Minas Gerais (Figura 1), nas coordenadas geográficas 18°32'29" de latitude Sul e 42°33'58" de longitude Oeste.



Figura 1 – Localização do município de Peçanha no estado de Minas Gerais.

Fonte: adaptado (IBGE, 2008).

A definição desta propriedade para alocação do experimento se deu devido à família Toshiba desenvolver a atividade carvoeira há 16 anos. Toda essa experiência no ramo fez despertar a conscientização para diminuição da carga poluente liberada para a atmosfera durante o processo de carbonização da madeira

e o interesse de melhor aproveitamento da biomassa florestal com a captação do líquido pirolenhoso.

3.2 CONSTRUÇÃO DO FORNO RABO QUENTE

Foi construído um forno de alvenaria do tipo rabo quente com 2,70m de diâmetro e 2,20m de altura, com capacidade aproximada de 12,4m³ de lenha.

O local escolhido foi limpo para a marcação da base do forno, em seguida uma circunferência foi pré-estabelecida por um gabarito feito com uma madeira e um cordão com prego na ponta. Foi usada uma enxada para cavar uma vala seguindo a marcação da circunferência com largura de um tijolo e profundidade de três tijolos, aproximadamente 0,20m.

A base foi construída no fundo na vala até atingir o nível do solo com camadas de tijolo e uma mistura de terra de barranco, areia e água. Depois de pronta a base, marcou-se uma abertura de 0,80m para a porta, a parede foi desenvolvida reta até a altura de 1,70m. A partir dessa altura a parede passou a desenvolver uma curvatura, formando assim a cúpula com 0,50m de altura. O acabamento final foi dado por postes de madeira fixados ao redor do forno, esses postes foram amarrados com arame, travando o forno (Figura 2).



Figura 2 – Fechamento da cúpula do forno rabo quente e instalação dos postes de fixação.

Ao longo do forno foram deixados orifícios para saída da fumaça e entrada de oxigênio, necessário no início do processo da carbonização. Tais orifícios são denominados tatu, quando localizados na parte inferior e baiana, quando localizados na parte superior. Depois das paredes totalmente prontas, o forno recebeu uma camada de barro, processo denominado barrelamento (Figura 3).



Figura 3 – Acabamento final do forno rabo quente realizado com uma fina camada de barro.

3.3 CONSTRUÇÃO DO TUBO COLETOR E INSTALAÇÕES

Para a captação da fração condensável dos gases emanados pelo forno durante o processo de carbonização foi desenvolvido um tubo coletor feito com chapas de zinco, conforme descrito por Andrade; Gonçalves (1999) com algumas modificações: comprimento total de 8,0m dividido em 2 partes. A primeira possuindo um comprimento de 1,0m mantendo a forma de um cilindro com 0,25m de diâmetro, já a segunda parte com 7,0m de comprimento com 0,30m de diâmetro afunilando até 0,10m de diâmetro. As partes foram unidas por solda e arrebites mantendo no encaixe das duas uma diferença de diâmetro na qual foi instalado uma pingadeira

(Figuras 4 e 5), constando de um cano de metal de meia polegada com 0,20m de comprimento, com o objetivo de drenar a fração condensável dos gases. Um sistema de fechamento, tipo borboleta, foi instalado a 0,45m da base do tubo coletor, o que permitiu a interrupção da entrada de ar durante o período de resfriamento do forno.



Figura 4 – Detalhes da pingadeira, responsável pela passagem da fração condensável dos gases emanados pelo forno rabo quente durante o processo de carbonização.



Figura 5 – Detalhe do acoplamento da pingadeira ao interior do recipiente para armazenamento do líquido pirolenhoso.

O tubo coletor dos gases condensáveis foi acoplado ao forno a uma altura de 1,85m apresentando uma inclinação de aproximadamente 100° em relação ao forno (figura 6), sendo mantida com o auxílio de madeiras fixadas em formato “X” (figura 7) promovendo desta forma sua sustentação.



Figura 6 – Tubo coletor de líquido pirolenhoso acoplado a 1,85 metros de altura a aproximadamente 100° em relação ao solo.



Figura 7 – Postes de madeira afixados ao solo formando “X” para sustentação do tubo coletor de líquido pirolenhoso.

3.4 ENCHIMENTO DO FORNO RABO QUENTE

Após adaptar o tubo coletor ao forno, encheu-se o forno com lenha de *E. cloeziana* cultivada na propriedade exclusivamente para produção de carvão vegetal. A lenha de vários diâmetros e de comprimento variando entre 1,70m e 2,20m foi empilhada na vertical do forno, acompanhando a inclinação das paredes o que facilitou o total preenchimento do espaço interno do forno, evitando o preenchimento da cúpula separadamente (Figura 8).



Figura 8 – Enchimento do forno rabo quente com madeira de *Eucalyptus cloeziana* dispostas verticalmente.

Após o carregamento iniciou-se o processo de fechamento da porta, os tijolos foram somente empilhados um sobre o outro, sem a fixação com barro, o que deixou a porta mais frágil que o restante da parede do forno, funcionando como uma válvula de escapa caso ocorresse aumento de pressão no interior do forno. Depois de montada, a porta foi barrelada, vedando possíveis entradas de oxigênio. Em seguida, foi iniciado o processo de ignição da lenha existente em seu interior através de uma das baianas existentes na cúpula (Figura 9). A carbonização da madeira

segiu no sentido descendente e aos poucos as baianas foram fechadas forçando desta forma a passagem de maior quantidade de fumaça pelo tubo coletor. Este, em função de seu comprimento e de ser constituído por material de boa condutividade térmica, promoveria a condensação da fumaça que na forma líquida seria captada até a pingadeira, para coleta do líquido pirolenhoso.



Figura 9 – Ignição do processo de carbonização da madeira no forno rabo quente através de uma das baianas da cúpula.

Toda a lenha utilizada na carbonização foi pesada antes de disposta no interior do forno e depois da carbonização pesaram-se o carvão e o líquido pirolenhoso para quantificação e cálculo de rendimento de cada produto.

3.5 ANÁLISE QUÍMICA DO CARVAO VEGETAL

A análise química do carvão vegetal foi realizada com base na norma ASTM D 1762 - 84, com algumas modificações. Foi determinado o Teor de umidade (TU); Teor de materiais voláteis (TMV); teor de cinzas (TCZ) e do teor de carbono fixo (TCF).

As amostras de carvão vegetal, oriundas de cinco bateladas, foram maceradas, homogeneizadas, e peneiradas em um agitador elétrico de peneiras granulométricas (Figura 10), dando origem a uma única amostra composta.

As amostras destinadas à análise química foram aquelas que passaram pela peneira de 20 *mesh* e ficaram retidas na peneira de 42 *mesh*, sendo posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (Figura 11).



Figura 10 – Agitador elétrico de peneiras granulométrico.



Figura 11 – Interior da estufa de circulação forçada de ar.

3.5.1 Teor de Umidade

Para determinação do teor de umidade, foram utilizadas cinco gramas da amostra do carvão vegetal por Becker. Após a pesagem, a amostra foi conduzida à estufa para secagem por 24 horas a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e posteriormente pesada novamente. O resultado final foi conseguido, a partir da média de cinco réplicas.

O teor de umidade foi calculado com base na equação (1):

$$TU(\%) = \frac{PU - PS}{PS} \times 100$$

(1)

Onde:

TU = Teor de umidade (%)

PU = Peso da amostra + peso Becker (g)

PS = Peso da amostra após estufa + peso Becker (g)

3.5.2 Teor de Material Volátil

Para determinação do teor de material volátil foram utilizados cadinhos de porcelana com tampa. Foi colocado um grama da amostra de carvão vegetal em cada cadinho. Estes foram conduzidos a mufla elétrica, regulada a $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, permanecendo por 2 minutos sobre a parte externa da porta aberta, 3 minutos na porta interna da porta aberta e 6 minutos no interior da mufla com a porta fechada (Figura 12). O resultado final foi conseguido, a partir da média de cinco réplicas.



Figura 12 – Cadinho de porcelana contendo amostra de carvão vegetal em mufla elétrica com controle de temperatura digital para determinação de material volátil

Os cadinhos foram retirados e mantidos em dessecador com sílica (Figura 13) para resfriamento por um período de 60 minutos, em seguida cada amostra foi pesada novamente em balança analítica de precisão.



Figura 13 – Dessecador contendo sílica para resfriamento dos cadinhos após passagem pela mufla elétrica.

O teor de materiais voláteis foi calculado com base na equação (2):

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

(2)

Onde:

TMV = Teor de materiais voláteis (%)

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

3.5.3 Teor de Cinzas

Para a obtenção do teor de cinzas, foi colocado um grama da amostra de carvão vegetal em cada cadinho de porcelana sem tampa. Em seguida estes foram conduzidos ao interior da mufla elétrica regulada a $750^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ e mantidos com a porta fechada, por 6 horas, para completa calcinação.

As amostras foram retiradas e mantidas em um dessecador com sílica por 60 minutos para resfriarem, em seguida foram pesadas em balança analítica. O resultado final foi conseguido, a partir da média de cinco réplicas.

O teor de cinzas foi calculado com base na equação (3):

$$TCZ(\%) = PR \times 100$$

(3)

Onde:

TCZ= Teor de cinzas (%)

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

3.5.4 Teor de Carbono Fixo

Para a determinação do teor de carbono fixo utilizou-se a equação (4):

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

(4)

Onde:

TCF= Teor de carbono fixo (%)

TMV= Teor de materiais voláteis (%)

TCZ= Teor de cinzas (%)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A carbonização ocorre no sentido descendente do forno e o calor ascendente, o que tornou-se um inconveniente durante a captura do líquido pirolenhoso, pois o aumento da temperatura na cúpula do forno ocasionou excesso de calor no interior do tubo coletor restringindo a condensação da fumaça.

Em cinco carbonizações, com o tubo coletor instalado na posição projetada, foi coletada uma média de 50kg de líquido pirolenhoso apenas. Isto ocorreu provavelmente, porque houve queima dos gases no interior do tubo à alta temperatura, levando a uma coleta de menor quantidade da fração condensável.

A partir da comprovação de que o calor restringia a condensação de parte dos vapores emanados pelo processo de carbonização, procedeu-se uma alteração na localização do tubo, acoplando-o junto à base do forno a uma altura de 0,50m do solo, mantendo-o numa angulação aproximada de 30°, em relação ao forno (Figura 14).



Figura 14 – Detalhe da base do tubo coletor de pirolenhoso acoplado junto à parte inferior do forno rabo quente a 0,50 metros do solo.

Durante a carbonização nessa nova posição o tubo manteve-se com menor temperatura por um maior espaço de tempo resultando em um aumento na condensação da fumaça emanada pelo forno (Figura 15).



Figura 15 – Tubo coletor acoplado ao forno na parte inferior em processo de coleta dos gases condensáveis.

A instalação do tubo coletor na base do forno resultou em um aumento de 120% na coleta de líquido pirolenhoso, por batelada, com lenha exclusiva de *Eucalyptus cloeziana*, totalizando 110kg (2,01% de rendimento). É interessante lembrar que o processo de resfriamento dos gases não contou com nenhum método artificial, apenas a própria circulação dos ventos existente ao redor do tubo, além de que o forno adaptado não possuía chaminé para escape dos gases e breve resfriamento da fumaça. Pode-se dizer que apesar do baixo rendimento na coleta de líquido pirolenhoso, quando comparado com trabalhos realizados em laboratório por Pereira *et al.* (2000), onde conseguiram 42% de rendimento, o sistema conseguiu mostrar-se eficiente na coletar de parte da fração condensável dos gases, contribuindo desta forma para uma possível redução da poluição atmosférica, comum na produção de carvão vegetal artesanal.

O baixo rendimento gravimétrico de carvão vegetal (20,91%) para uma média de 5.260kg de lenha pode ser considerado satisfatório para a espécie. Salienta-se que devido à irregularidade nas dimensões da lenha utilizada nas corridas, há uma maior chance de formação de espaços vazios no interior do forno, contribuindo desta forma para uma maior calcinação da lenha (Andrade; Gonçalves, 1999).

Quando se comparam os valores encontrados para rendimento gravimétrico com estudos de destilação seca em laboratório para eucalipto, os valores não dispersam muito, conforme observado por Pereira *et al.* (2000). Os autores encontraram em laboratório um rendimento médio de 33,7% de carvão vegetal.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química imediata do carvão vegetal resultante da carbonização de *E. cloeziana* em forno de alvenaria do tipo rabo quente adaptado com um tubo coletor de líquido pirolenhoso.

Tabela 2 – Valores médios dos Teores de Umidade (TU), Teor de Material Volátil (TMV), Teor de Cinzas (TCZ) e Teor de Carbono Fixo (TCF), para amostra de carvão de *Eucalyptus cloeziana*.

	TU	TMV	TCZ	TCF
Amostra de Carvão	5,26%	19,63%	0,34%	80,02%

Fonte: os autores.

Baixos teores de umidade são preferíveis, pois interferem diretamente na qualidade do carvão vegetal, quando armazenado. O carvão, coletado após o processo de descarga do forno, apresentou baixo teor de umidade (5,26%), provavelmente devido à rapidez na coleta da amostra.

Os valores encontrados para o teor de material volátil e de carbono fixo segundo Brito; Barrichelo (1978) estão dentro do considerado normal para a espécie. Os autores avaliando os teores de voláteis e carbono fixo afirmam que carvão obtido a partir da madeira de *E. cloeziana* em comparação com a madeira de *eucalyptus grandis*, *eucalyptus saligna*, *eucalyptus microcorys*, *eucalyptus tereticornis*, *eucalyptus resinifera*, *eucalyptus tessellaris* e *eucalyptus camaldulensis*

possui maiores valores absolutos para a característica teor de carbono fixo e menor para a característica teor de material volátil.

O teor de carbono fixo é dependente dos valores de voláteis e cinzas (VELLA *et al.*, 1989). Como os teores de cinzas variam, em limites absolutos, muito menos do que os teores de materiais voláteis são estes os responsáveis por influenciarem mais os valores de carbono fixo, portanto, o comportamento elevado do teor de carbono fixo pode estar associado ao baixo teor de cinzas encontrado.

O teor de carbono fixo encontrado (80,02%), é considerado satisfatório para o gênero estudado, estando próximo dos valores citados por Valente (1997). O autor ainda cita que faixas de temperaturas elevadas, isto é acima de 500°C são responsáveis pela elevação do carbono fixado no carvão vegetal.

O baixo valor encontrado pela análise química imediata para teor de cinzas (0,34%) na amostra de carvão vegetal de *E. cloeziana* está muito próximo ao valor (0,3 a 0,5%) encontrado por Pereira *et al.* (2000) quando estes avaliaram amostras de carvão para a mesma espécie, porém carbonizada em laboratório. Baixos teores de cinzas estão associados à pouca presença de compostos inorgânicos na madeira, à exemplo da sílica, que não se volatiliza às temperaturas normais de carbonização. De acordo com Vale (2007) teores de cinzas elevados provocam reduções nos teores de carbono fixado no carvão vegetal, o que não se observou no presente estudo.

5 CONCLUSÃO

O tubo coletor de líquido pirolenhoso mostrou-se pouco eficiente na coleta de líquido pirolenhoso do ponto de vista quantitativo.

Houve redução de gases tóxicos oriundos da carbonização da madeira para a atmosfera.

O carvão vegetal produzido apresenta características físicas satisfatórias, principalmente em função do elevado teor de carbono fixo e baixo teor de cinzas.

Melhorias no sistema de resfriamento do tubo coletor podem aumentar a eficiência na coleta de líquido pirolenhoso.

Sugestões de como complementar o trabalho:

- ✓ Avaliar economicamente o trabalho completo;
- ✓ Avaliar o custo do tubo coletor (implantação e manutenção);
- ✓ Avaliar a durabilidade do tubo coletor e ou forno rabo quente;
- ✓ Avaliar os possíveis ganhos com o líquido pirolenhoso;
- ✓ Avaliar a influencia da adaptação do tubo coletor no rendimento em carvão;
- ✓ Avaliar novas empregabilidades do líquido pirolenhoso e ou testes de empregos já conhecidos;
- ✓ Avaliar o rendimento de líquido pirolenhoso para diferentes espécies de lenha;
- ✓ Avaliar o rendimento em líquido pirolenhoso coletado com tubos de novos formatos;
- ✓ Avaliar o rendimento em líquido pirolenhoso coletado pelo tubo com uso de métodos artificiais de resfriamento.

REFERÊNCIAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Ano base 2008. **Anuário Estatístico da ABRAF**. Brasília, DF 2009.

ANDRADE, A. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 24-42, 1998.

ANDRADE, A. M.; GONÇALVES, F. G. Adaptação de um forno para o aproveitamento dos subprodutos da carbonização. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 241-247, 1999.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SIVICULTURA - AMS. Disponível em: <<http://www.silvimiras.com.br/principal/iConteudo.aspx?cty=41&cnt=18&ano=4&mn=1&fla=4>>. Acesso em: 20 de Maio de 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. **D 1762 – 84** (Reapproved 2007).

BASTOS FILHO, J. G. **Desenvolvimento e teste de um forno metálico para carbonização de madeira**. 1986. 37p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1986.

BRITO, J. O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. USP/ESALQ. – Documentos Florestais: Piracicaba, v. 9, p. 01-19, maio 1990.

BRITO, J. O; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, n. 16, p. 63-70, 1978.

CAMPOS, A. D. **Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Pelotas, RS. EMBRAPA. Circular Técnica. Dez., 2007.

CETEC. **Manual de construção e operação de fornos de carbonização**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 551p. , 982.

COELHO JUNIOR, L. M. et al. Análise longitudinal dos preços do carvão vegetal no estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, Viçosa, MG. p. 429-438, 2006

COLOMBO, S. F. O.; HATAKEYAMA, K. A composição do custo operacional do processo artesanal de produção de carvão vegetal com interface das pressões trabalhistas e ambientais. In: Congresso Internacional de Administração, 2007, Ponta Grossa, PR. **Anais** do Congresso Internacional de Administração, Ponta Grossa, PR, 2007.

COSTA, T. M. S. **Estudo da viabilidade econômica para produção de carvão vegetal a partir de bambu da espécie *Bambusa vulgaris***. 2003. 29 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, SP, 2003.

DELEPINASSE, B. M. **Diagnóstico da comercialização de produtos florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 205p. 2002.

FENANDES, D. C. M. et al. Emprego de misturas solo-alcatrão de madeira de eucalipto em estradas florestais. **Revista Cerne**, v. 8. n. 1, p. 42-48, 2002

FERREIRA, O. C. O futuro do carvão vegetal na siderurgia: emissão de gases de efeito estufa na produção e consumo do carvão vegetal. **Revista Economia e Energia**, Ano IV, n. 21, jul./Ago. 2000.

GLASS, V. Onde a fumaça há lucro. **Revista Globo Rural**, junho, 2001. Disponível em: www.globorural.globo.com/edic/188/rep_tecnologiaa. Acesso em: 20. maio 2009.

GOMES, P.A. ; OLIVEIRA, J. B. **Teoria da carbonização da madeira. Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, p.10-27, 1982.

GUIMARÃES NETO, R. M. **Avaliação técnica e econômica de um forno contêiner em escala industrial**. 2005. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em : 20 de Maio de 2009.

JACOVINE, L. A. G. et al. Sequestro de carbono em povoamentos florestais de eucalipto e a geração de créditos de carbono. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 98–113, jan./fev. 2008.

MASCARENHAS, M. H. T. et al. **Efeito da utilização do extrato pirolenhoso na produtividade do quiabeiro**. Nova Porteirinha, EPAMIG, MG, Boletim Técnico [21-].

MIYASAKA, S. et al. **Técnicas de produção e uso de fino de carvão e licor pirolenhoso**. In: Encontro de Processos de Proteção de Plantas: Controle Ecológico de Pragas e Doenças, 1, 2001, Botucatu: Agro Ecológica, p. 161-176. 2001.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Boletim Técnico, 1998.

PAES, J. B. et al. Efeito da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal na preservação da madeira de *eucalyptus grandis*, após 48 meses de instalação do ensaio de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 475-484, 2002.

PEREIRA, J. M. M.; SANTOS, G. P. Aspectos sócio econômicos do setor florestal brasileiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 7-13, jan./fev. 2008.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Embrapa Florestas, Colombo, PR. 113p. Embrapa Florestas. Documentos, 38, 2000.

SAKITA, A. E. N.; PORTO, P. R.; NAKAOKA SAKITA, M. **Utilização do extrato pirolenhoso na germinação e no desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan**. IF Ser. Reg., São Paulo, SP, n.31, p. 57-61, 2007.

SANTOS, S. de F. de O. M. **Produção de carvão vegetal em cilindros metálicos verticais: alguns aspectos referentes à sustentabilidade**. 2007. 93f Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PR, 2007.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidades do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 92p. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2008.

SCARPINELLA, G. D'A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182f. Dissertação (pós-graduação) – Universidade de São Paulo, SP, 2002.

SILVA, A. R. **Sistema de produção do carvão vegetal em duas áreas da estrada AM – 010, Amazonas**. 2006. 29f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Amazonas, AM, 2006.

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

VALE, A. T. et al. Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de materiais voláteis. **Brasil Florestal**, n. 73, abr. 2002.

VALE, A. T.; GENTIL L. V. **Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais**. In: OLIVEIRA J. T. da S; FILDLER N. C.; NOGUEIRA M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III. Jerônimo Monteiro – ES, 2008. p. 195-241.

VALENTE, O. F. Madeira de eucalipto como opção energética – Estudo de casos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186. 1997.

VELLA, M. M. C. F.; VALENTE, O. F.; VITAL, B. R.; DE LELLES, J G. Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido. **IPEF**, n. 41/42, p. 64-76, jan./dez. 1989.