

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS - IF
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto
(*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C**

Alessandro de Paula Silva

Orientador: Azarias Machado de Andrade

Seropédica, RJ
2007

Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto (*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C

RESUMO

Neste trabalho, efetuou-se a pirólise de resíduos lignocelulósicos (casca, maravalha e serragem) oriundos do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus pellita* às temperaturas de 400 °C e 600 °C. As propriedades físico-químicas dos carvões produzidos foram comparadas com as da lenha da mesma espécie (carvão convencional) pirolisada às mesmas temperaturas. Com a pirólise da casca obteve-se maiores rendimentos médios em carvão vegetal (38,27 %) e em carbono fixo (28,47 %) e maior teor de cinza (4,50 %). Em seguida os carvões dos resíduos lignocelulósicos foram briquetados e analisados. Foram determinadas a umidade de equilíbrio dos briquetes e as massas específicas aparentes, bem como os ritmos de degradação natural e forçada. Dos materiais lignocelulósicos analisados pirolisados à temperatura de 600 °C obteve-se combustíveis sólidos com maiores higroscopicidade. As massas específicas aparentes dos briquetes, não diferiram significativamente entre si, apresentando um valor médio de 0,51 g/cm³. Contudo, estas foram superiores àquelas apresentadas pelos carvões do lenho pirolisado em ambas as temperaturas. Em termos absolutos, os ritmos de degradação, natural e forçada, foram maiores nos combustíveis sólidos derivados dos carvões dos materiais lignocelulósicos pirolisados à temperatura de 400 °C. Na degradação natural, os combustíveis sólidos consumidos mais lentamente foram aqueles derivados dos carvões com os menores teores de matérias voláteis, ou seja, do lenho, da maravalha e da serragem pirolisados à temperatura de 600 °C.

Palavras-chave: resíduos lignocelulósicos; pirólise; briquetagem.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO - UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS – IF
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Alessandro de Paula Silva

Produção de briquetes dos carvões de casca, maravalha e serragem de eucalipto (*Eucalyptus pellita*), pirolisados às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C

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

Orientador: Azarias Machado de Andrade

Seropédica, RJ
2007

Monografia aprovada em 08 de agosto de 2007.

Comissão examinadora;

Orientador: _____
Azarias Machado de Andrade

Titular 1: _____
Acacio Geraldo de Carvalho

Titular 2: _____
Edvá Oliveira Brito

Production of briquetts of the bark, wood shaving and eucalypt sawdust coals (*Eucalyptus pellita*), pirolisados to the maximum temperatures of 400 °C and 600 °C

ABSTRACT

In this work, it was carried out the pyrolysis of residues lignocellulosics (bark, wood shaving and sawdust) which comes from the mechanical processing of the wood of *Eucalyptus pellita* in the temperatures of 400 °C and 600 °C. The physiochemical properties of the coals produced were compared with the firewood of the same species (conventional coal) pyrolysed in the same temperatures. With the pyrolysis of the bark it was obtained larger medium incomes in vegetable coal (38,27 %) and in fixed carbon (28,47 %) and larger tenor of ash (4,50 %). Soon afterwards the coals of the residues lignocellulosics were briquetted and analyzed. It was determined the humidity of balance of the briquettes and the apparent specific masses, as well as the rhythms of natural and forced degradation. Materials lignocellulosics analyzed pyrolysed in temperature of 600 °C was obtained solid fuels with larger hygroscopicity. The apparent specific masses of the briquettes, did not differ significantly amongst themselves, presenting a medium value of 0,51 g/cm³. However, these were superior to those presented by the coals of the log pyrolysed in both temperatures. In absolute terms, the rhythms of natural and forced degradation, they were larger in the solid fuels derived of the coals of the materials lignocellulosics pyrolysed in temperature of 400 °C. In the natural degradation, the solid fuels consumed more slowly were those derived of the coals with the smallest tenors of volatile matters, in other words, of the log, of the wood shaving and of the sawdust pyrolysed in temperature of 600 °C.

Key-words: residues lignocellulosics; pyrolysis; briquette.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois “tudo posso naquele que me fortalece”

À minha família pela confiança em mim depositada, me incentivando a cada passo da minha jornada;

À grande família 602, que sempre esteve unida, e nela sempre pude confiar;

Aos colegas de graduação pelo companheirismo;

Ao meu orientador e amigo Azarias Machado de Andrade por me orientar e sempre dispor de tempo para ouvir e me ajudar;

Aos professores Paulo Sérgio dos Santos Lelles e Jorge Mitiyo Maêda pela ajuda fornecida nas análises estatísticas;

Ao professor Alexandre Monteiro de Carvalho pelo empenho e ajuda na obtenção dos materiais utilizados na pesquisa;

À todos que estiveram direta e indiretamente envolvidos na realização do presente trabalho;

À UFRRJ por dispor de condições as quais me possibilitaram cumprir mais uma etapa de minha vida;

Ao CNPq pelo apoio financeiro;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Carvão Vegetal.....	2
2.2 Processo de Carbonização.....	3
2.3 Resíduos Lignocelulósicos.....	4
2.4 Processo de Briquetagem.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Matéria-Prima Vegetal.....	7
3.2 Pirólise dos Materiais Lignocelulósicos.....	7
3.3 Análise Química Imediata dos Carvões.....	8
3.4 Briquetagem dos Carvões.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
5. CONCLUSÃO	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um insumo importante e que, devido à ampliação dos seus usos e à sua escassez nas regiões tradicionalmente consumidoras, vem valorizando-se ao longo das últimas décadas. Todavia, a despeito destes fatores, a utilização integral da madeira ainda não é uma realidade em nenhuma das suas principais utilizações. Em alguns setores, o desperdício da madeira pode chegar a 70% da massa original disponível, como é o caso da sua utilização para fins energéticos. Isto ocorre, sobretudo, devido à utilização de equipamentos de queima mal dimensionados (fornalhas, fogões, fornos, dentre outros), ao despreparo dos operadores ou, ainda, à inexistência de meios eficazes que possibilitem o aproveitamento integral do material lenhoso (SANTIAGO & ANDRADE, 2005).

De acordo com NOGUEIRA *et al.* (2000) e INFOTEC/PRÓ-CARVÃO (2001), a utilização da energia da biomassa representa a “fotossíntese inversa”, pois busca-se resgatar a energia solar armazenada no vegetal, consumindo o oxigênio atmosférico e restituindo ao ar o dióxido de carbono. No caso da produção de carvão vegetal, THIBAU (2000) afirma que o processo consiste na concentração do elemento carbono existente na madeira, que libera os demais elementos químicos da sua composição pela ação da energia térmica. Entretanto, BRITO (1990); ANDRADE (1993) e ANDRADE & CARVALHO (1998) salientam que durante a conversão da madeira a carvão vegetal ocorre, além da concentração de carbono, uma série de fenômenos físicos e químicos, que resultam num resíduo sólido carbonoso, o carvão, e numa fração gasosa. Uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, permitindo a obtenção do chamado líquido pirolenhoso e a outra parte resulta em gases incondensáveis inflamáveis, a exemplo do CO, H₂, CH₄, C₂H₆, dentre outros. O líquido pirolenhoso é constituído por água e por compostos químicos como os ácidos acético e fórmico, o éter, os álcoois metílico e etílico, a acetona, o alcatrão, dentre outros. De acordo com pesquisas desenvolvidas pelo projeto INFOTEC/PRÓ-CARVÃO (2000), quando diluído em água e, ou, urina bovina, o líquido pirolenhoso encontra uma vasta aplicação no campo das culturas orgânica e convencional. O alcatrão, em virtude da sua composição, constituída basicamente por compostos fenólicos, creosoto e piche, pode ser utilizado como combustível, como preservativo de madeira ou como importante matéria-prima nas indústrias química e farmacêutica.

ANDRADE (1989) verificou que a inclusão da casca no material a ser carbonizado, proporciona um aumento significativo dos rendimentos gravimétrico em carvão e em carbono fixo, apesar da substancial elevação do teor de cinza no carvão vegetal.

O aproveitamento integral da madeira, nativa ou oriunda de plantios comerciais, é plenamente possível, desde que os pesquisadores das áreas silvicultural e tecnológica se unam, num esforço comum para, seqüencialmente, produzirem madeira de boa qualidade, destinada à geração de um ou de vários produtos. Para a produção de carvão e dos demais subprodutos da destilação da lenha, é possível a utilização dos resíduos gerados no desdobro das madeiras de *Eucalyptus* spp, como a serragem, topos, maravalha, casca, costaneiras e demais refugos. Como os carvões produzidos a partir desses materiais, normalmente, apresentam baixas granulometrias médias e massas específicas aparentes, parece interessante e viável a briquetagem e a densificação dos mesmos antes da utilização propriamente dita. Para NOGUEIRA *et al.* (2000), tais procedimentos visam à concentração de uma maior quantidade de energia por unidade de volume do combustível, além de facilitarem o manuseio, transporte e armazenamento do mesmo.

A presente pesquisa objetivou a produção e análise de carvões da casca, maravalha e serragem de *Eucalyptus pellita*, bem como a briquetagem e análise dos briquetes derivados dos carvões. Foram determinados os rendimentos e realizada a análise química dos carvões. No caso dos briquetes, foram determinadas as massas específicas aparentes e os ritmos de degradação térmica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Carvão Vegetal

A lenha é o terceiro material energético primário consumido no Brasil, com um consumo médio, nos últimos 26 anos, de $9,78 \times 10^7$ toneladas/ano (VALE *et al.*, 2000). Segundo Bem (1996), citado por VALE *et al.* (2000), no ano de 1995, de um consumo de $7,65 \times 10^7$ toneladas, 45,05 % foram utilizados de maneira indireta, prioritariamente para a produção de carvão vegetal e os outros 54,95 % queimados diretamente em fogões e fornalhas.

O Brasil é o maior produtor e, ao mesmo tempo, maior consumidor de carvão vegetal do mundo. Em 2005 a produção nacional foi de 5,5 milhões de toneladas o que significou um aumento na produção de 17,1 % em relação ao ano anterior. Cerca de 2,5 milhões de toneladas (46 %) foram oriundos de florestas plantadas cujo principal produtor foi o Estado de Minas Gerais, com produção de 1,74 milhões de toneladas. O consumo neste mesmo ano foi de 38,05 milhões de mdc (SBS, 2006). Este insumo energético é em grande parte utilizado pelo setor industrial brasileiro, principalmente pelo segmento siderúrgico.

O Estado de Minas Gerais é o mais importante pólo de produção de produtos siderúrgicos do país, sendo que a produção mineira de ferro gusa corresponde à cerca de 60% da produção nacional e utiliza, principalmente, o carvão vegetal como termo-redutor. O maior consumo de carvão vegetal no Brasil está concentrado nos pólos siderúrgicos de Minas Gerais (64 %) e de Carajás (21 %), este último localizado nos estados do Maranhão e Pará (AMS, 2004).

De acordo com a ABRACAVE (1999), no Brasil operam 107 altos-fornos a carvão vegetal que juntos produziram 6.810×10^3 toneladas de ferro-gusa e, para esta produção, consumiram $26,9 \times 10^6$ mdc no ano de 1998.

Além do uso siderúrgico, o carvão vegetal encontra uma ampla aplicação no setor industrial, sobretudo na fabricação do cimento, nas indústrias química e farmacêutica, na indústria alimentícia etc.

O segmento cimenteiro, que vem substituindo de modo crescente o óleo combustível nos últimos anos, passou de 3,0 % em 1980 para 11,0 % do consumo nacional de carvão vegetal e os setores residencial, comercial e público corresponderam a 9,0 % do consumo em 1984 (FONTES, 1989).

O espectro de utilização do carvão vegetal aumenta ainda mais quando o mesmo é submetido ao processo de ativação. Segundo SANTANA & ASSUMPÇÃO (nd), o carvão ativado possui muitas aplicações, dentre as quais destacam-se: nas refinarias de açúcar, para purificação e branqueamento; na fabricação de óleos e gorduras; na produção de bebidas alcoólicas, para a retirada de odores desagradáveis e adsorção de partículas em suspensão; na purificação de produtos farmacêuticos; no tratamento de água, eliminando odores e gostos

desagradáveis; na purificação do ar; na recuperação de solventes orgânicos; na adsorção de moléculas corantes durante a fabricação de plásticos; etc.

2.2 - Processo de Carbonização

A carbonização da madeira é caracterizada pela decomposição térmica parcial da mesma em ambientes fechados, na ausência ou na presença de quantidades controladas de oxigênio, envolvendo uma série de transformações físicas e químicas extremamente complexas (CARVALHO, 1997). O mesmo autor, citando (Wenzl, 1970), diz que o processo de carbonização consiste em concentrar carbono e retirar oxigênio da madeira, sendo totalmente dependente da temperatura, pois maiores temperaturas resultam em maiores concentrações de carbono no resíduo. Contudo perde-se carbono junto com gases durante a retirada do oxigênio, o que resulta em um baixo rendimento em carbono.

O comportamento da madeira durante a carbonização é o resultado do somatório dos comportamentos dos seus constituintes químicos, nas várias fases de aquecimento. CARVALHO (1997) citando vários autores, diz que tais fases se caracterizam por regiões bastante distintas em grau de decomposição térmica. A primeira fase, denominada fase A, se inicia quando a temperatura do ambiente atinge valores em torno de 150 °C sendo detectada na fumaça a presença de ácido acético, ácido fórmico, glioxial e gases efluentes constituídos de vapor d'água e traços de CO₂. Esta fase é curta e se caracteriza basicamente pela secagem da madeira uma vez que a temperatura no interior das peças ainda é baixa.

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

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

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

A velocidade do processo de carbonização exerce grande influência nos rendimentos e na qualidade dos produtos obtidos (BROWNE 1958; WENZL, 1970; MENDES *et al.*, 1982 e OLIVEIRA *et al.*, 1982). VELLA *et al.* (1989) analisando a madeira de *Eucalyptus tereticornis* de um povoamento de nove anos de idade, constataram que aumentos na velocidade de carbonização acarretam reduções na densidade aparente do carvão, no rendimento em carvão, no teor de matérias voláteis e aumento no teor de cinza.

Aumentos na temperatura final de carbonização proporcionam aumentos no teor de carbono e reduções no rendimento em carvão e no teor de matérias voláteis. O poder calorífico do carvão equivale ao do carbono. No entanto, o carvão que possua um alto teor de matérias voláteis pode apresentar um poder calorífico mais elevado, desde que os compostos voláteis sejam ricos em hidrogênio (OLIVEIRA, 1982).

A qualidade do carvão vegetal está vinculada às características físicas e químicas da lenha carbonizada. COLLET (1955), BRITO & BARRICHELO (1978) e MARTINS (1980) verificaram que a madeira que apresenta elevado teor de lignina, provavelmente, dará origem

a um carvão com elevado teor de carbono. ANDRADE (1989) menciona que os componentes minerais encontrados na madeira e, em maior concentração, na casca, são repassados para o carvão. Quando o carvão vegetal se destina à produção de alguns tipos de ferro-ligas ou de carbureto de cálcio, a presença de alguns componentes minerais é indesejável. O fósforo presente no carvão pode se incorporar às ligas metálicas tornando-as quebradiças, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de trincas e fissuras. Neste caso, especificamente, a casca tem sido referenciada como uma translocadora de minerais para o carvão vegetal e, apesar de representar, em média, 10 a 15% do volume total da árvore, é tratada como uma porção indesejável.

2.3 - Resíduos Lignocelulósicos

Resíduos lignocelulósicos são aqueles que apresentam na sua constituição a lignina e a celulose sendo, em sua maior parte, de origem vegetal, tais como: rejeitos oriundos da madeira ou da indústria madeireira, até mesmo móveis velhos e restos de madeira de demolições; resíduos de culturas agrícolas ou de beneficiamento de produtos agrícolas; postes; estacas; dormentes; paletes e embalagens em fim de vida, etc (QUIRINO, 2003). Geralmente apresentam baixa densidade, elevado teor de umidade e são dispersos geograficamente, encarecendo a coleta, o transporte e dificultando o aproveitamento energético. Apresentam, na maioria das vezes, uma grande diversidade de formas e granulometria. Portanto, uma característica bastante comum dos resíduos é a heterogeneidade.

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grandes quantidades de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária. De acordo com BRITO (1996), as indústrias de madeira serrada, lâminas e compensados geram resíduos da ordem de $19.255.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, na forma de costaneiras, refilos, aparas, cascas, serragem, cepilhos ou maravalhas, etc., representando 50,7 % do volume original das toras. Segundo Foelkel *et al.* (1978), citados por MARON & NEVES (2004), toda vez que um tronco é serrado forma-se entre 2 e 5 % de serragem, baseado na massa seca da madeira. CARVALHO & CÂMARA (2002) mencionam que a indústria brasileira produziu no ano de 2000 cerca de 166,31 milhões de metros cúbicos de madeira, de reflorestamento ou nativa, onde pelo menos a metade deste volume foi transformada em resíduo.

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

RODRIGUES *et al.* (nd), estudando a viabilidade do aproveitamento de resíduos lignocelulósicos no Estado do Pará, constataram que a produção anual estimada de serragem, considerando toda a produção madeireira, chega a 528.175 toneladas. Segundo QUIRINO (2003) um resíduo lignocelulósico pode ser reciclado e reutilizado como matéria-prima em um processo diferente daquele de origem como, por exemplo, ser transformado em partículas e constituir-se em painéis à base de madeira. Pode ser também utilizado energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em grupos geradores ou termelétricas. Outro aproveitamento desse resíduo é sob a forma de combustível sólido, como o carvão vegetal que é utilizado nas indústrias siderúrgicas como termo-redutor ou como um carvão ativo. O

carvão também pode ser gaseificado, transformando-se em um combustível gasoso ou utilizado como gás de síntese (QUIRINO, 2003).

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema existente em praticamente todas as serrarias brasileiras. Embora as empresas modernas incluam nas suas atividades o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das serrarias instaladas ainda está despreparada para o descarte apropriado de seus rejeitos.

2.4 - Processo de Briquetagem

O processo de briquetagem teve origem na Europa, ainda no início do século passado. Atualmente, praticamente todos os tipos de resíduos orgânicos (biomassa) podem ser reutilizados para a produção de energia, com tecnologias sofisticadas (PRADO, 2001).

A briquetagem é um processo de densificação de resíduos. Todo resíduo de origem vegetal pode ser compactado pela briquetagem, bastando atender às necessidades de granulometria e teor de umidade. Esse processo possui a vantagem de transformar um resíduo de baixíssima densidade em um material lenhoso de alta qualidade (QUIRINO, 2003).

QUIRINO & BRITO (1991) consideram a briquetagem como uma forma muito eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Tais autores enfatizam esta eficiência levando em consideração que 1,00 m³ de briquetes contém pelo menos cinco vezes mais energia que 1,00 m³ do resíduo que deu origem ao mesmo, com base na densidade do granel e no poder calorífico médio. Ressaltam, ainda, que o carvoejamento de resíduos para a produção de carvão particulado fino e posterior briquetagem, seria um ótimo processo para ampliar a oferta de carvão vegetal, com a vantagem adicional de reduzir a pressão sobre as florestas naturais. No entanto, o carvoejamento industrial destes resíduos, inexistente no Brasil, principalmente de forma contínua, como é praticado em outros países, que produzem briquetes de carvão vegetal há muito tempo. Segundo SALEME (nd), na briquetagem do carvão vegetal usa-se, geralmente, um ligante, que pode ser de vários tipos. Em princípio, qualquer adesivo pode ser utilizado como aglutinante, sendo a escolha feita, geralmente em função do custo e da qualidade final desejada. Dependendo do uso final, os briquetes não devem ser confeccionados com aglutinantes poluentes, emissores de fumaça, etc. O estudo do melhor material ligante é de fundamental importância no processo de briquetagem. O aglutinante não deve prejudicar as características energéticas do carvão, diminuindo o poder calorífico, aumentando o teor de voláteis e cinzas, ou mesmo, ser usado em proporções que seu custo inviabilize economicamente o briquete.

Segundo Pietsch (1976), citado por QUIRINO & BRITO (1991) os aglutinantes podem ser de três tipos: matriz, filme e químico. Os aglutinantes do tipo matriz envolvem completamente as partículas formando uma matriz contínua. São requeridas quantidades razoáveis do aglutinante porque, de modo geral, estas substâncias apresentam baixa resistência, que depende de uma fase contínua em volta das partículas individuais. Podem ser citados como exemplo: o alcatrão mineral, alcatrão de madeira, asfalto ou piche de petróleo. Os aglutinantes tipo filme são geralmente usados como soluções ou dispersões. A água é o solvente mais comum, usando-se também o álcool, a acetona, o tetracloreto de carbono, além de outros solventes. Como exemplo desses aglutinantes, dentre outros, tem-se o silicato de sódio, a água, o amido, o melão e os lignosulfatos. Os aglutinantes químicos são aqueles em que o efeito de adesão depende de reações químicas efetivas dos componentes do aglomerado entre si, ou entre o aglomerante e o material que está sendo aglomerado. Estes aglutinantes também podem ser do tipo matriz ou filme, dependendo, principalmente, da resistência e das

características dos produtos das reações. Nesta categoria encontram-se o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + melão, silicato de sódio + CO_2 , dentre outros.

Tanto a porosidade como a resistência mecânica de um carvão vegetal depende das condições sob as quais foi feita a carbonização. Isto justifica o estudo das conseqüentes modificações que podem ocorrer em briquetes submetidos a tratamentos térmicos durante ou após a secagem. Também é de importância fundamental o estudo do poder adsorvente e absorvente das partículas do carvão vegetal, ou seja, a química de superfície, juntamente com o estudo da estrutura do pó do carvão, que permitirão determinar a relação pasta ligante/esqueleto granular, visando regular a mistura exata, possibilitando controlar o fenômeno de “creep”, que acontece a determinadas temperaturas do tratamento térmico e, também, evitar o trincamento do briquete durante a desmoldagem (SALEME, nd).

De acordo com FONTES *et al.* (1984), através da briquetagem do carvão vegetal, ou seja, da técnica que envolve homogeneização, aglomeração e densificação de partículas de material sólido, consegue-se um combustível com homogeneidade granulométrica, maior densidade e maior resistência à geração de finos. O efeito de densificação proporcionado pela briquetagem produz um combustível com maior concentração energética por unidade de volume que, aliado à resistência adquirida, viabiliza técnica e economicamente o transporte a distâncias maiores. Outra grande vantagem da briquetagem é a possibilidade de aproveitamento de resíduos lignocelulósicos.

A briquetagem do carvão vegetal é um processo bastante conhecido no exterior, com inúmeras indústrias operando nos EUA e Europa. Apesar de ser o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, o Brasil não possui tradição industrial na produção de briquetes de carvão (FONTES *et al.*, 1989). Para a implementação da prática de produção e uso de briquetes no Brasil há a necessidade de se estabelecer regras de mercado para consumidores e produtores, criando normas de qualidade e diferentes classes de produtos. Desta forma passariam a ser considerados como um combustível com características próprias, como de fato o são (QUIRINO & BRITO, 1991).

QUIRINO & BRITO (1991) avaliaram o desempenho de briquetes de diferentes procedências, durante a combustão num dispositivo de teste que possibilitou a verificação da temperatura e da massa consumida dos respectivos briquetes durante a combustão. Isso permitiu a elaboração de curvas de temperatura x tempo, massa x tempo e massa x temperatura. A partir de valores extraídos de pontos dessas curvas foi elaborado um índice denominado ‘índice de combustão’ e concluíram ser um bom indicativo do comportamento de um briquete durante a combustão e que pode ser adotado para classificar e comparar a qualidade de diferentes briquetes.

RODRIGUES *et al.* (nd) estudando a viabilidade do uso de três resíduos lignocelulósicos no Estado do Pará, mencionaram que usando resíduos compostos pode-se controlar as características físicas e químicas dos briquetes de acordo com a finalidade dos mesmos. Ter-se-á briquetes com alto poder calorífico, quando o processo exigir uma boa eficiência energética do combustível, sem que, necessariamente, se gaste em excesso os resíduos de maior valor energético, o que representa economia de produção.

A briquetagem é uma boa alternativa tecnológica para se produzir energia elétrica de forma mais econômica, principalmente por usinas termoelétricas cujas principais vantagens são: baixo custo de operação, menor impacto ambiental e redução do custo de transporte da matéria-prima.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Matéria-Prima Vegetal

Os resíduos derivados do processamento mecânico da madeira de eucalipto (*Eucalyptus pellita*) foram obtidos na marcenaria do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, vinculada ao Departamento de Produtos Florestais. A madeira processada foi coletada em um povoamento florestal com a idade aproximada de quinze anos, estabelecido no *campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica, no Estado do Rio de Janeiro. As árvores amostras foram cortadas em peças de um metro de comprimento que foram processadas na marcenaria do Instituto de Florestas. Na ocasião foram obtidos os resíduos lignocelulósicos quais sejam: casca, maravalha e serragem.

A lenha de *Eucalyptus pellita* utilizada como testemunha, foi obtida na mesma área. Para tanto, foram amostradas duas árvores, de cujos fustes foram retirados discos de madeira com aproximadamente três centímetros de espessura, nas seguintes alturas: 0,3 m do nível do solo, 1,30 m (altura do peito) e a 25, 50, 75 e 100 % da altura comercial.

Em seguida, o material foi encaminhado para as análises posteriores no Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

3.2 - Pirólise dos Materiais Lignocelulósicos

As amostras do material lenhoso que deram origem ao carvão convencional foram cavaqueadas e juntamente com amostras dos resíduos lignocelulósicos foram secas até 0 % de umidade em uma estufa regulada a 105 ± 3 °C. O material a.s. (absolutamente seco), das respectivas amostras (lenho, casca, maravalha e serragem), foi submetido ao processo de pirólise às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C. A Tabela 1 apresenta os tratamentos que foram analisados no decorrer da pesquisa.

Tabela 1 - Tratamentos avaliados no decorrer do trabalho de pesquisa

Tratamento	Especificação
01	Lenho de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilado até 400 °C
02	Lenho de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilado até 600 °C
03	Casca de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 400 °C e briquetada
04	Casca de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 600 °C e briquetada
05	Maravalha de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 400 °C e briquetada
06	Maravalha de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 600 °C e briquetada
07	Serragem de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 400 °C e briquetada
08	Serragem de <i>Eucalyptus pellita</i> , destilada até 600 °C e briquetada

No decorrer das destilações os vapores liberados foram condensados, quantificados e armazenados. O carvão vegetal, analisado qualitativa e quantitativamente, foi produzido num cadinho metálico (Figura 1), acondicionado dentro de uma mufla adaptada (Figura 2). Os

gases incondensáveis, com alguns constituintes inflamáveis na sua composição foram queimados na saída do sistema de arrefecimento.



Figura 1 - Cadinho metálico, usado para a destilação seca dos materiais vegetais.

De posse das massas de cada um dos produtos foram obtidos os rendimentos em carvão vegetal, em líquido pirolenhoso (gases condensáveis) e em gases incondensáveis.

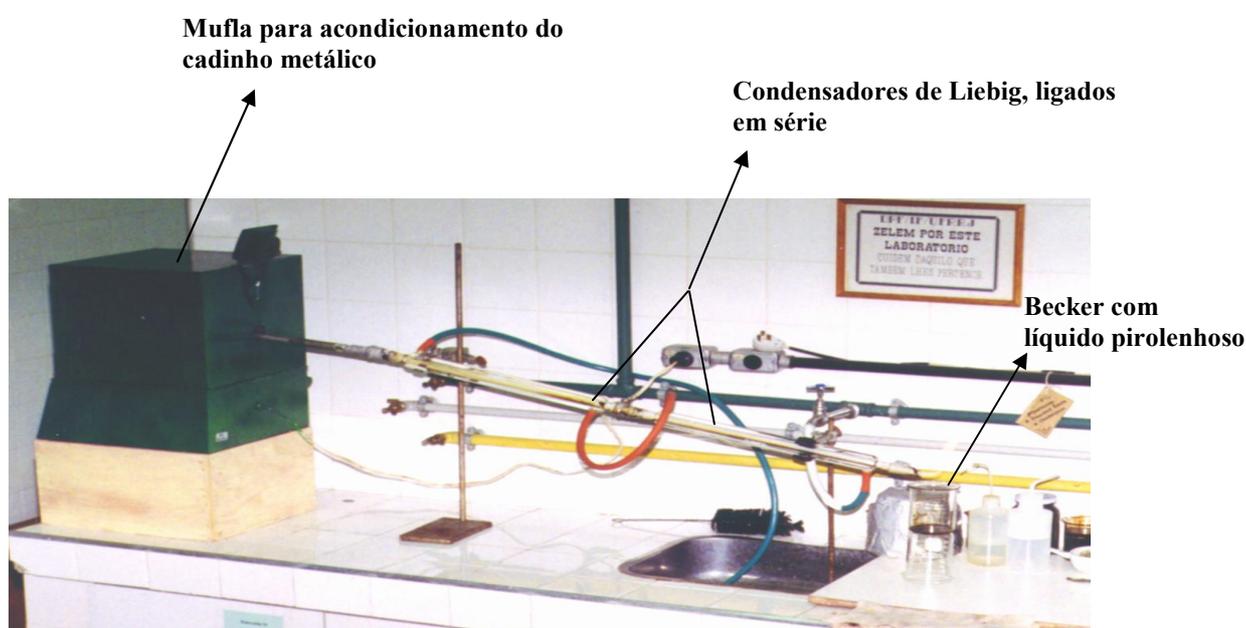


Figura 2 - Sistema laboratorial usado para a destilação seca dos materiais vegetais.

3.3 - Análise Química Imediata dos Carvões

Após as determinações das respectivas massas totais, amostras representativas dos carvões foram separadas, maceradas e peneiradas. Nas análises químicas subseqüentes foram utilizadas amostras com a granulometria média inferior a 1,00 mm e superior a 0,25 mm, mantidas numa estufa regulada a 105 ± 3 °C por cerca de 48 horas. Posteriormente, análises das amostras dos respectivos carvões foram feitas, utilizando-se para tanto alíquotas de 1 grama, adotando-se a norma ASTM D 1762-64, modificada por OLIVEIRA *et al.* (1982), determinando-se os teores de matérias voláteis, de cinza e de carbono fixado no carvão vegetal. De posse do rendimento em carvão vegetal e do teor de carbono obteve-se o rendimento em carbono fixo, o qual expressa a qualidade do carvão.

3.4 - Briquetagem dos Carvões

A briquetagem dos carvões foi efetuada no interior de um molde metálico cilíndrico (A), de aço inoxidável, utilizando-se uma prensa hidráulica de 15 toneladas (B), apresentados na Figura 3. Como agente aglutinante foi utilizada a carboximetilcelulose, na concentração de 3 % (m/m). Após as misturas terem sido feitas, adicionou-se um volume de água (30 %, m/m) propiciando a reação da carboximetilcelulose.

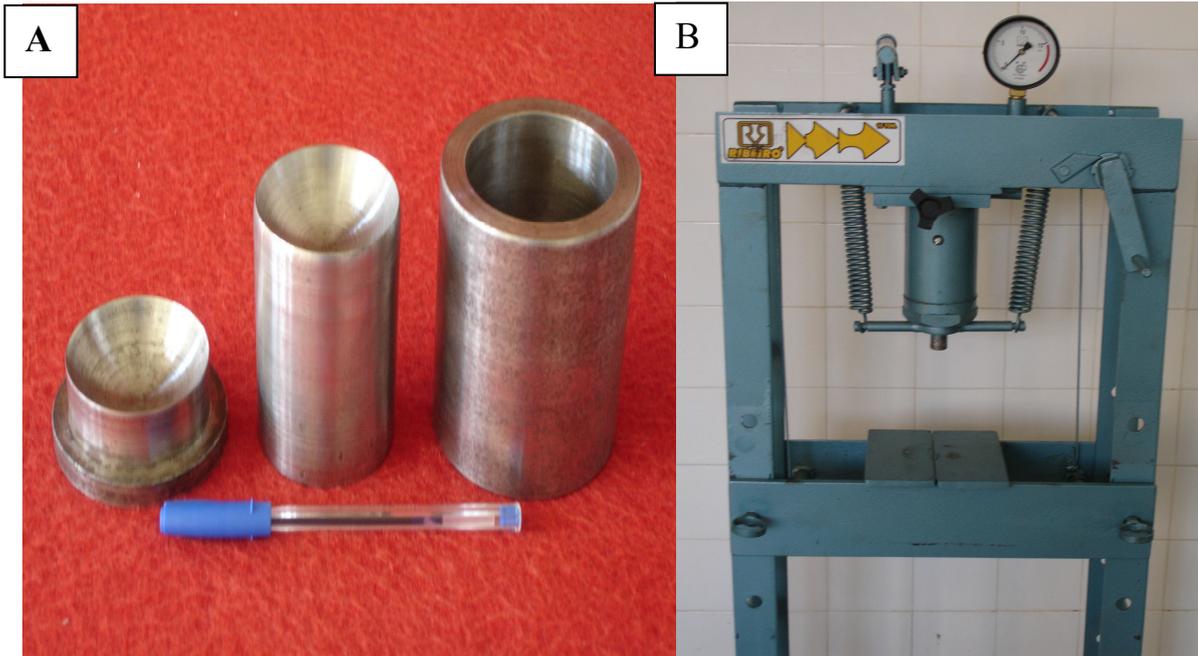


Figura 3 – Molde de aço inoxidável, projetado para a densificação das misturas e formação dos briquetes (A) e Prensa hidráulica de 15 toneladas (B).

Na fabricação de cada briquete foram utilizados 60 gramas da mistura (resíduo e aglutinante). As misturas das composições foram acondicionadas no molde e prensadas com aplicação de uma carga de 10 toneladas. A Figura 4 apresenta a preparação das misturas das composições dos briquetes (A) e a prensagem destas misturas no interior do molde de aço inoxidável (B).



Figura 4 – Preparação das misturas de composição dos briquetes (A) e aplicação da força de prensagem para densificação dos materiais (B).

Adotou-se o tempo de prensagem de três minutos, após o qual os briquetes foram retirados e postos para secar ao ar, cuja umidade relativa média durante o processo de secagem foi de 75,69 %. Ao atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente, determinou-se as massas específicas aparentes (g/cm^3) dos respectivos briquetes.

Foram determinados os ritmos de degradação dos briquetes, em g/min , sob duas condições. No primeiro caso incidiu-se a chama de um maçarico sobre o briquete por cinco minutos. A segunda condição considerou a degradação térmica natural, durante o período de 120 minutos. Em ambas as condições os briquetes foram pesados antes e depois da queima, para a estimativa dos ritmos de degradação térmica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 constam os valores médios dos rendimentos em carvão vegetal, gases condensáveis e gases incondensáveis, observados após a pirólise dos materiais lignocelulósicos (lenho, casca, maravalha e serragem), às temperaturas máximas de 400 °C e 600 °C.

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

Tratamento	Material lignocelulósico	Temperatura (°C)	RCV (%)	RGC (%)	RGI (%)
1	Lenho	400	30,74 c	44,53 ab	24,73 d
2		600	27,37 e	42,83 bc	29,80 b
3	Casca	400	38,27 a	31,97 d	29,77 bc
4		600	33,49 b	31,87 d	34,63 a
5	Maravalha	400	28,23 de	46,38 ab	25,39 cd
6		600	24,78 f	47,59 a	27,63 bcd
7	Serragem	400	29,38 cd	39,63 c	30,98 ab
8		600	26,02 f	39,25 c	34,73 a

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

Analisando a Tabela 2, percebe-se que à medida que se aumenta a temperatura o rendimento em carvão vegetal diminui. O carvão da casca da espécie analisada (*E. pellita*) apresentou o maior rendimento em carvão vegetal (38,27 %), quando pirolisada à temperatura máxima de 400 °C, sendo o referido valor 54,44 % superior ao menor rendimento observado no carvão da maravalha, pirolisada a 600 °C (24,78 %). Pode-se ainda observar o efeito positivo da presença da casca no rendimento em carvão vegetal quando a mesma é pirolisada juntamente com a madeira (lenho), obtendo-se um carvão convencional, se comparada aos carvões dos resíduos maravalha e serragem. Tal influência também foi observada por VITAL *et al.* (1989), estudando a influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*.

Em relação ao rendimento em gases condensáveis não se observou uma tendência ou um comportamento bem definido, variando em um intervalo de 31,87 % (carvão da casca / 600 °C) a 47,59 % (carvão de maravalha / 600 °C), sendo este rendimento 49,32 % superior ao menor valor.

No que se refere ao rendimento em gases incondensáveis, para todos os materiais lignocelulósicos analisados, observou-se um ligeiro aumento no rendimento frente ao aumento da temperatura máxima de pirólise, com valores distribuídos num intervalo de 24,73 % (carvão do lenho / 400 °C) a 34,73 % (carvão de serragem / 600 °C). Os maiores valores foram observados nos carvões de serragem, pirolisados em ambas as temperaturas analisadas e no carvão de casca pirolisado a 600 °C.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de matérias voláteis, cinza e carbono fixo, bem como o rendimento em carbono fixo dos carvões dos materiais lignocelulósicos analisados.

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

Tratamento	Material lignocelulósico	Temperatura (°C)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	RCF (%)
1	Lenho	400	19,25 b	1,50 bc	79,25 c	24,35 bc
2		600	7,50 cd	1,75 bc	90,75 a	24,84 b
3	Casca	400	24,00 a	4,25 ab	71,75 d	27,45 a
4		600	10,50 c	4,50 a	85,00 b	28,47 a
5	Maravalha	400	22,00 ab	1,00 c	77,00 c	21,73 e
6		600	6,75 d	1,25 c	92,00 a	22,80 d
7	Serragem	400	20,75 ab	0,75 c	78,50 c	23,06 d
8		600	7,50 cd	1,25 bc	91,25 a	23,75 cd

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

Observa-se, na Tabela 3, uma tendência à redução do teor de matérias voláteis à medida que se aumenta a temperatura de pirólise. Os teores de matérias voláteis se apresentaram num intervalo de 6,75 % (carvão de maravalha / 600 °C) a 24,00 % (carvão da casca / 400 °C) sendo o maior valor 255,55 % superior ao menor valor. Contudo, apesar do carvão da casca ter apresentado o maior valor absoluto, não se diferenciou significativamente dos carvões de maravalha e serragem, ambos pirolisados a 400 °C. Da mesma forma, não apresentaram diferenças significativas os teores de matérias voláteis dos carvões de maravalha, serragem e lenho, pirolisados a 600 °C.

Os teores de cinza apresentaram valores de 0,75 % a 4,50 %, observados nos carvões da serragem, pirolisada a 400 °C e da casca, pirolisada a 600 °C, respectivamente. Neste caso, o maior valor apresentou-se 500 % superior ao menor valor.

Percebe-se que existe uma tendência ao aumento do teor de carbono fixo à medida que se aumenta a temperatura máxima de pirólise. Para todos os materiais lignocelulósicos analisados houve um aumento no teor de carbono do carvão, em resposta ao aumento na temperatura de pirólise. Tais teores apresentaram valores de 71,75 % (carvão de casca / 400 °C) a 92 % (carvão de maravalha / 600 °C) sendo o maior valor 28,22 % superior ao menor.

Os rendimentos em carbono fixo, produto dos respectivos rendimentos em carvão vegetal e dos teores de carbono fixo, apresentaram valores médios distribuídos num intervalo de 21,73 % a 28,47 %, nos carvões de maravalha pirolisada a 400 °C e da casca pirolisada a 600 °C, respectivamente. Segundo ANDRADE (1989) o rendimento em carbono fixo é o parâmetro que melhor expressa a qualidade energética da matéria-prima lignocelulósica para a produção de carvão vegetal. Desta forma, o carvão da casca, pirolisada em ambas as temperaturas, apresentou ser de melhor qualidade.

A Tabela 4 apresenta os valores médios das umidades de equilíbrio, em %, das massas específicas aparentes, em g/cm³, bem como os ritmos de degradação térmica dos carvões do lenho e dos briquetes, forçada e natural, em g/min.

Tabela 4 – Valores médios da umidade de equilíbrio, em %, massa específica aparente, em g/cm³ (MEA), degradação forçada (DF) e degradação natural (DN) em g/min, dos carvões do lenho da espécie analisada e dos respectivos briquetes

Combustível Sólido	Material	Temp. (°C)	Umidade (%)	MEA (g/cm³)	DF (g/min)	DN (g/min)
Carvão	Lenho	400	8,49 b	0,25 b	0,90 a	0,21 a
		600	11,27 a	0,21 b	0,58 ab	0,11 b
Briquete	Carvão da Casca	400	8,43 b	0,51 a	0,74 ab	0,25 a
		600	11,54 a	0,51 a	0,37 b	0,23 a
Briquete	Carvão da Maravalha	400	8,53 b	0,49 a	0,39 b	0,21 a
		600	11,60 a	0,53 a	0,34 b	0,05 b
Briquete	Carvão da Serragem	400	8,17 b	0,48 a	0,42 b	0,23 a
		600	11,01 a	0,52 a	0,31 b	0,09 b

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

Observa-se, na Tabela 4, que não houve diferença estatística significativa entre as umidades de equilíbrio dos combustíveis sólidos (carvão do lenho e briquetes derivados de carvões) produzidos à mesma temperatura de pirólise. Entretanto, valores estatisticamente superiores foram apresentados pelos carvões do lenho e pelos briquetes produzidos dos carvões dos resíduos à 600 °C, quando comparados àqueles produzidos à 400 °C. Tal fato, possivelmente, esteja vinculado às maiores higroscopiedades dos carvões produzidos a 600 °C, quando comparados àqueles produzidos a 400 °C. Segundo ANDRADE (1989), a higroscopiedade relaciona-se com outras propriedades do carvão, tais como a porosidade, a adsorvidade, a absorvância que, por sua vez, estão diretamente relacionadas com a retenção de sólidos e líquidos na estrutura do carvão.

Não foram observadas diferenças significativas entre as massas específicas aparentes (g/cm³) dos briquetes, porém, estas se diferiram da massa específica dos carvões do lenho que apresentaram menor valor. Embora a variação da umidade de equilíbrio dos briquetes tenha ocasionado ligeiras variações nas massas específicas aparentes dos mesmos, não foram observados valores estatisticamente diferentes entre si.

Devido à maior concentração de matérias voláteis nos carvões produzidos à temperatura máxima de 400 °C (vide Tabela 3), os ritmos de degradação térmica dos carvões do lenho e dos briquetes derivados de carvões produzidos a esta temperatura, tanto forçada quanto natural, foram superiores sob os pontos de vista estatístico ou absoluto. Durante a degradação natural, os briquetes que foram consumidos mais lentamente foram aqueles derivados dos carvões com os menores teores de matérias voláteis, ou seja, da maravalha e da serragem pirolisadas à temperatura máxima de 600 °C, conforme pode ser observado na Tabela 3.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados, concluiu-se que:

- A presença da casca no material que será pirolisado conduz a aumentos significativos nos rendimentos em carvão vegetal.
- A presença da casca no material que será pirolisado pode acarretar a elevação do rendimento em carbono fixo e do teor de cinza do carvão.
- A adoção da temperatura máxima de pirólise de 600 °C ao invés de 400 °C resulta em aumentos nos teores de carbono fixo e na redução dos rendimentos em carvão vegetal.
- Lenho, casca, maravalha e serragem, oriundos da madeira de *E. pellita*, produzem carvões de elevados teores de carbono fixo (85,00 % a 92,00 %), quando pirolisados a 600 °C.
- Há uma tendência ao aumento da higroscopicidade dos briquetes dos carvões à medida que se aumenta a temperatura de carbonização do resíduo.
- Briquetes derivados de carvões de casca pirolisada a 400 °C e 600 °C apresentam um elevado ritmo de degradação térmica natural.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACAVE - Associação Brasileira dos Recursos Naturais Renováveis. Anuário Estatístico / 98. Belo Horizonte, MG, 1999. 12p.
- AMS – Associação Mineira de Silvicultura . O COMPLEXO FLORESTAL INDUSTRIAL (CFI) EM MINAS GERAIS - Caracterização, dimensionamento e importância. Belo Horizonte, Outubro 2004, 41 p.
- ANDRADE, A.M.de. Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal. 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ANDRADE, A.M.de. Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto. 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ANDRADE, A.M. de & CARVALHO, L.M. de. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 5, n. 1, p.24-42, 1998.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. Standard method for chemical analyses of wood charcol. Phyladelphia, 1977. 1042p.
- BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A.; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serrarias através do balanço de materiais. *REVISTA FLORESTA* 32 (2), p. 247-259, 2002.
- BRITO, J.O. & BARRICHELO, L.E.G. Características do Eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. *IPEF, Piracicaba*, (16): 63-70, 1978
- BRITO, J.O. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. Piracicaba, SP, *Documentos Florestais*, (9):1-19, mai. 1990. 19p.
- BRITO, E.O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. *Revista da Madeira, Caxias do Sul*, v.26, p.34-39, 1996.
- BROWNE, F.L. Theories of the combustion of wood and its control. Madison, FPL, 1958. 70p.
- CARVALHO, A.M.M.L. Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ignífugos na produção e na qualidade do carvão. 1997. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CARVALHO, T. C. S. & CÂMARA, J. B. D. IBAMA, GEO Brasil 2002 - Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. - Brasília: Edições IBAMA, 2002.

- COLLET, F. Estudo comparativo, em escala de laboratório, de diversas madeiras utilizadas na fabricação de carvão vegetal. Boletim da Associação Brasileira de Metais, 42 (12): 5-14, 1955.
- FONTES, P.J.P.; QUIRINO, W.F.; PASTORE JÚNIOR, F. Aglutinantes para briquetagem de carvão vegetal. Brasília, DF, Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA, 1984. 5p. (não publicado)
- FONTES, P. J. P.; QUIRINO, W. F.; OKINO, E. Y. A. Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil. LPF/IBAMA, série técnica n.01, Brasília, 1989.
- FONTES, P. J. P. Aspectos Técnicos da Briquetagem do Carvão Vegetal no Brasil. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 1989.
- INFOTEC/PRÓ-CARVÃO - Informativo Técnico do Programa de Qualificação da Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo. Carbonização da madeira e produtos obtidos. Piracicaba, SP, n. 1, ano 1, 2000. np
- INFOTEC/PRÓ-CARVÃO - Informativo Técnico do Programa de Qualificação da Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo. Carvão vegetal de eucalipto. Piracicaba, SP, n. 4, ano 2, 2001. np
- MARON, A.; NEVES, J. M. Utilização de misturas de cavacos industriais com resíduos de serraria provenientes de madeiras de *Eucalyptus grandis* de diferentes idades para produção de pasta Kraft, Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, Revista Ciência Florestal, v. 14, n. 1, p. 205-221, 2004.
- MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: FUNDAÇÃO CETEC. Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte, 1980. p.9-26.
- MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W.R. Produção e utilização do carvão vegetal. Belo Horizonte, CETEC, 1982. p.76-89.
- NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. Dendroenergia: fundamentos e aplicações. Brasília, DF, 2000. 144p.
- OLIVEIRA, J.B.de; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R.de. Carvão vegetal - destilação, carvoejamento, propriedades e controle de qualidade. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. 173p. (SPT 6)
- OLIVEIRA, J.B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.77-89, 1982 (SPT)
- PRADO, G., Em busca da energia ecológica. Disponível em <http://www2.correioweb.com.br/cw/2001-08-05/mat_48638.htm> Acesso em: 08 de fevereiro de 2007.

- QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília, 2003. 14p.
- QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, série técnica nº 13, Brasília, 1991. 18p.
- RODRIGUES, L. D.; SILVA, I. T.; ROCHA, B. R. P.; SILVA, I. M. O. Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará, nd 6p.
- SALEME, J. E. F. Estudo básico para briquetagem do carvão vegetal. Ouro Preto, Escola de Minas e Metalurgia, nd 19p.
- SANTANA, M.C.; ASSUMPÇÃO, R.M.V. Pirólise de madeira – matérias-primas, produtos, aplicações. São Paulo, SP, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Laboratório de Extrativos de Madeira da Divisão de Madeiras, nd. 55p.
- SANTIAGO, A.R. & ANDRADE, A.M.de. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. Ciência Florestal, Santa Maria, RS, v. 15, n.1, p.1-7, 2005.
- SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. Fatos e Números do Brasil Florestal, nov. 2006, 106p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>> Acesso em: 02 de julho de 2007.
- THIBAU, C.E. Produção sustentada em florestas. Belo Horizonte, MG, p.297-347, mar. 2000. 511p.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R.A.A..Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD em diferentes níveis de adubação. Revista CERNE, vol. 06, n.01, p.83-88, 2000.
- VITAL, B. R.; ANDRADE, A. M.; VALENTE, O. F.. Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. IPEF, n 41/42, p.44-49, jan./dez. 1989.
- VELLA, M. M. C. F.; VALENTE, O. F.; VITAL, B. R.; 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.
- WENZL, H.F.J. The chemical tecnology of wood. New York, USA, Academic Press, 1970. 692p.