
POTENCIALIDADES ENERGÉTICAS DE OITO ESPÉCIES
FLORESTAIS DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO

AZARIAS MACHADO DE ANDRADE
Dr, Prof. Adjunto, DPF - IF - UFRRJ
LAZLO MACEDO DE CARVALHO
Ex-Bolsista do Convênio
PIBIC - CNPq-UFRRJ

RESUMO

A presente pesquisa objetivou a avaliação de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro para fins energéticos. As espécies analisadas foram: Abricó de Macaco (*Couroupita guianensis* Aubl.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), Angico-Branco (*Piptadenia peregrina* (L.) Benth), Aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. Allem.) Engl.), Flamboyant (*Delonix regia* Ras.), Guapuruvu (*Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake), Pau-Jacaré (*Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.) e Pau-Mulato (*Calycophyllum sprussiana* Benth.). Para efeito de comparação foi utilizado o Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). O carvão vegetal e os subprodutos da destilação seca dessas espécies foram quantificados e, posteriormente, analisados sob os pontos de vista físico e químico. Após as análises observou-se que todas as espécies podem ser utilizadas para fins energéticos, porém, destacaram-se como as melhores a Aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. Allem.) Engl.), o Pau-Jacaré (*Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.) e o Angico-Branco (*Piptadenia peregrina* (L.) Benth.).

Palavras Chave: Madeira para fins energéticos, carvão vegetal, alcatrão.

ABSTRACT

ENERGETICS POTENTIALITIES OF EIGHT
FOREST SPECIES FROM RIO DE JANEIRO
STATE

The present research objectified to study eight forest species from Rio de Janeiro State for energetics finillity. The analyzed forest species were: Abricó de Macaco (*Couroupita guianensis* Aubl.), Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), Angico-Branco (*Piptadenia peregrina* (L.) Benth), Aroeira (*Astronium urundeuva* (Fr. Allem.) Engl.), Flamboyant (*Delonix regia* Ras.), Guapuruvu (*Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake), Pau-Jacaré (*Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.) e Pau-Mulato (*Calycophyllum sprussiana* Benth.). For comparison effect was used the *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Physical and chemical aspects of charcoal and others products of dry distillation those forest species were quantified and analyzed. After the analyses, it was observed that eight species can be used with energy purposes, even so, the best ones were Aroeira

INTRODUÇÃO

Durante o processo de carbonização da madeira, o carvão é apenas uma fração dos produtos que podem ser obtidos. Caso sejam utilizados sistemas apropriados para a coleta, também podem ser aproveitados os condensados pirolenhosos (líquido pirolenhoso) e os gases não-condensáveis. A prática mais completa e eficiente, quando, além do carvão vegetal (resíduo) são aproveitados os condensados e os gases incondensáveis da madeira, denomina-se "destilação seca", podendo ser implantada a partir da utilização de retortas ao invés dos fornos convencionais.

Indiretamente, a quantidade e as propriedades dos produtos da destilação seca refletem as características químicas, físicas e anatômicas da madeira. Portanto, em virtude da enorme variedade de espécies florestais existentes, há uma grande variação nos resultados obtidos, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Desta forma, é interessante que sejam elaborados estudos visando a caracterização das espécies florestais, estabelecendo usos apropriados para cada uma delas, bem como objetivando melhorias da matéria-prima florestal e do produto final.

Assim, foi proposta a presente pesquisa, com os objetivos de avaliar as potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro e de caracterizar, sob os pontos de vista físico e químico, o carvão vegetal, o líquido pirolenhoso e os gases incondensáveis dessas espécies.

REVISÃO DE LITERATURA

Dentre as propriedades do carvão vegetal, do líquido pirolenhoso e dos gases enriquecidos

da madeira, que estão diretamente relacionadas ao seu comportamento e eficiência nas mais variadas utilizações, destacam-se: composição química, densidade, friabilidade e resistência mecânica (no caso do carvão), higroscopicidade, inflamabilidade, poder calorífico, pH, viscosidade e outras. Estas propriedades são diretamente afetadas pelas características físico-químicas e anatômicas da madeira utilizada na sua produção.

Características físicas da madeira que afetam a qualidade dos insumos energéticos

A friabilidade do carvão vegetal, ao que tudo indica, está estreitamente relacionada às características físicas da madeira que lhe originou, sobretudo à densidade básica e à presença de trincas e fissuras internas. Sabe-se que, sendo o carvão altamente friável, a geração de finos, desde a fabricação até a sua utilização, é da ordem de 25,2% (Oliveira, 1977; citado por COUTINHO e FERRAZ, 1988). Dados experimentais, obtidos pelos mesmos autores, permitiram concluir que os finos gerados pelo carvão vegetal aumentam diretamente com a classe de diâmetro das árvores. Isto acontece em decorrência do elevado gradiente de densidade existente entre as regiões da casca e da medula das árvores. Árvores pertencentes às classes de maior diâmetro possuem, conseqüentemente, maior área de cerne e, portanto, maior será a região sujeita à formação de trincas e fissuras internas. Desta forma, sendo desejável um carvão vegetal que apresente uma menor geração de finos, deve-se usar, de preferência, as árvores de menor diâmetro, as quais fornecem madeira com menor percentagem de cerne.

Em relação à densidade do carvão vegetal, algumas considerações que obtiveram a

aceitação geral já foram estabelecidas. DOAT e PETROFF (1975), por exemplo, lançaram o conceito bem aceito de que, quanto mais densa for a madeira, mais denso será o carvão dela oriundo. MENDES *et al.* (1982) salientaram que a absorção (higroscopicidade) do carvão vegetal está diretamente relacionada com a sua elevada porosidade que, por sua vez, está intimamente associada à densidade da madeira que lhe deu origem.

Assim, o conhecimento de alguns aspectos físicos da madeira como, por exemplo, a sua densidade básica, é fundamental para a avaliação das suas qualidades para a produção insumos energéticos, sobretudo de carvão vegetal.

Características anatômicas da madeira que afetam a qualidade dos insumos energéticos

Os efeitos das características anatômicas da madeira sobre a qualidade dos seus derivados energéticos, algumas vezes, chegam a se confundir com os efeitos das suas características físicas. Isto decorre da existência de uma estreita correlação entre as mesmas. Espera-se, portanto, que as interferências das propriedades anatômicas da madeira sobre a qualidade dos insumos energéticos sejam semelhantes àquelas verificadas quando do estudo das suas características físicas. Neste sentido, ANDRADE *et al.* (1990) afirmam que a constatação de características anatômicas que se correlacionem com densidades básicas elevadas, a exemplo da ocorrência de paredes celulares espessas e de diâmetros de lúmens reduzidos, indica a possibilidade da produção de carvão vegetal denso, com menor volume de poros e, conseqüentemente, menos higroscópio. Madeiras com altos teores de vasos com dimensões demasiadamente elevadas apresentam, também, características indesejáveis para a produção de carvão vegetal, a exemplo da baixa densidade. Então, havendo a possibilidade, deve-se optar pela espécie com o menor volume de vasos (FOELKEL,

1978).

Características químicas da madeira que afetam a qualidade dos insumos energéticos

Dentre os principais constituintes químicos da madeira, o que mantém maior influência sobre as características físicas e químicas dos seus derivados energéticos é, sem dúvida, a lignina. BRITO e BARRICHELO (1977) encontraram correlações positivas significativas entre o teor de lignina de várias espécies de eucalipto com o rendimento gravimétrico e com o teor de carbono fixo e, conseqüentemente, correlações negativas com os teores de matérias voláteis e de cinza no carvão. Tentando justificar os resultados obtidos, salientaram que o rendimento mais elevado, apresentado pelas amostras com maiores teores de lignina, são atribuídos ao fato deste componente fundamental da madeira ser mais resistente à decomposição térmica quando comparado à celulose e às hemiceluloses, devido, sobretudo, à sua estrutura extremamente complexa. Da mesma forma, os maiores teores de carbono no carvão, nos condensados pirolenhosos e nos gases, produzidos a partir das madeiras mais lignificadas, decorrem do fato da lignina possuir cerca de 65% de carbono elementar em sua composição, contra 45% de carbono que ocorre normalmente nos mencionados polissacarídeos. D'ALMEIDA (1988) comenta que o teor médio de lignina das coníferas situa-se entre 24 e 34% e, das folhosas tropicais, entre 25 e 33%.

Pode-se afirmar que a quantidade de carbono fixo fornecida por unidade de madeira enfomada é função, principalmente, da percentagem de lignina da madeira. Oparina *et al.* (1971), citados por BRITO e BARRICHELO (1977), comentaram que a presença de um elevado teor de substâncias de natureza aromática, como extrativos e lignina, dá como conseqüência um carvão com maior densidade e mais resistente em termos de propriedades físico-mecânicas. Satanoka (1963), citado por BRITO e BARRICHELO (1977), por sua vez, afirmou que madeiras com maior teor de lignina

geram insumos energéticos com maior poder calorífico.

Para OLIVEIRA *et al.* (1982), o comportamento da madeira, perante ao processo de destilação seca, representa o somatório do comportamento de cada um de seus componentes principais (celulose, hemiceluloses e lignina), sendo que o carvão vegetal consegue reter 57% do carbono inicial presente na madeira. O carbono restante está contido nos gases enriquecidos e no líquido pirolenhoso condensado. Evidencia-se, portanto, a importância da lignina quando objetiva-se a produção de insumos energéticos da madeira. Embora a lignina comece a degradar-se sob o efeito de temperaturas relativamente baixas (por volta de 150 graus centígrados), observa-se, ao contrário da celulose e das hemiceluloses, que a sua decomposição é mais lenta. A lignina continua a perder peso mesmo em temperaturas superiores a 500 graus centígrados, resultando, portanto, em uma maior massa carbonosa. Transcorrido o período normal de carbonização, com temperatura média ao redor de 500 graus centígrados, a perda de peso apresentada pela lignina é significativamente menor que aquelas experimentadas pela celulose e pelas hemiceluloses, restando, ainda, cerca de 40% da sua massa original. A degradação da celulose processa-se rapidamente, chegando a perder, de 300 a 350 graus centígrados, cerca de 80% da sua massa. As hemiceluloses, por sua vez, começam a perder peso em temperaturas próximas a 225 graus centígrados, sendo o componente menos estável, considerando-se que, por volta dos 500 graus centígrados a sua degradação térmica terá sido completa. Portanto, tudo indica que a resistência térmica dos constituintes químicos da madeira está intimamente relacionada às suas respectivas estruturas. Assim, quanto mais complexa, mais rígida, mais inacessível, mais fechada e mais cristalina for a estrutura, mais estável do ponto de vista térmico será o correspondente componente químico.

Praticamente inexistem estudos retratando os efeitos dos extrativos da madeira sobre a

qualidade dos insumos energéticos. É muito importante que novas pesquisas sejam conduzidas com o intuito de avaliar as influências de extrativos como os taninos, as lignanas, a resina, as gomas, os óleos, as ceras e as graxas, sobre as características físico-químicas dos derivados energéticos da madeira. Com relação aos constituintes inorgânicos da madeira é sabido que os mesmos permanecem, quase que integralmente, na constituição química do carvão vegetal. Esses elementos minerais, detectados na forma de cinza, quando em altos teores, reduzem significativamente as qualidades físicas e químicas do carvão vegetal. Por exemplo, quando possui teores elevados de fósforo e de enxofre, o carvão vegetal torna-se inadequado para a produção de ferro-gusa e de alguns tipos de ferro-ligas, considerando-se que poderá ocorrer o fenômeno da "segregação", que consiste no acúmulo de impurezas que, não sendo tão solúveis no metal sólido quanto o são no metal líquido, vão sendo repelidas para o centro das peças, à medida que a solidificação se processa, da periferia para o centro. É nesta segunda região que os elementos minerais irão acumular-se, tornando os referidos produtos duros e quebradiços, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de fissuras (ANDRADE, 1989, 1993).

Quando a madeira transfere grandes quantidades de elementos minerais para o carvão vegetal, principalmente de fósforo, ocorrem sérios problemas no caso da produção de carburetos. Um exemplo clássico é o que acontece com as pedras de carbureto de cálcio, que tornam-se bastante quebradiças, esfarelando-se com elevada facilidade nas regiões onde está concentrado o elemento mencionado. Esta redução da granulometria média do carbureto de cálcio, às vezes, torna-o inadequado à produção de materiais como o PVC. Ocorrem, também, problemas relacionados à diminuição do rendimento e da eficiência do carbureto de cálcio quando o mesmo é utilizado na geração de gás acetilênico, uma vez que o fósforo e o cálcio

reagem na presença da água, gerando fosfatos cálcicos que sedimentam-se nos depósitos de carbureto, reduzindo a quantidade de gás produzido (ANDRADE, 1989, 1993).

É bom lembrar que, em algumas espécies, principalmente na casca, o teor de cinza é bastante elevado. A casca, por sinal, sempre possui mais minerais que a madeira propriamente dita. O alburno também possui mais cinza que o cerne (FOELKEL, 1977). ANDRADE (1989) verificou que a inclusão da casca no material a ser carbonizado provoca aumento nos rendimentos gravimétrico e em carbono fixo, além de elevar o teor de cinza. Evidenciou-se, portanto, que a casca da madeira interfere nas qualidades físicas e químicas do carvão vegetal, sendo que as alterações verificadas ora se manifestam de forma positiva ora de forma negativa, o que tornou possível recomendar, para usos em que acrescimos nos teores de cinza do carvão não se constituam em fatores limitantes da sua utilização, que a lenha seja carbonizada com a casca. Nas utilizações em que o elevado teor de minerais no carvão é um problema grave e limitante do seu uso, como na produção de carbureto de cálcio e de alguns tipos de ferroligas, recomendou-se o descascamento da árvore antes da sua carbonização. Para o setor siderúrgico recomendou-se a carbonização da madeira com casca, como tem sido feito convencionalmente.

Utilização do carvão vegetal e dos subprodutos da carbonização

A técnica da utilização do carvão vegetal como fonte energética certamente é a mais conhecida e utilizada, porém não é a única capaz de ser aventada durante a conversão termoquímica da madeira. Para SOLITATU *et al.* (1993), os compostos expelidos da madeira durante a sua carbonização também são recursos energéticos interessantes, que produzem uma combustão limpa e eficiente, sendo economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis.

Além de sua utilização como fonte energética,

o carvão apresenta diversas outras aplicações, tais como: na indústria mecânica, como abrasivo de fina granulação; no meio agrícola, como substrato para a produção de mudas; na indústria química, na confecção de filtros especiais contra gases tóxicos; na indústria farmacêutica, entrando na composição de diversos medicamentos; etc. Segundo MILTON e HENRY (1995), a aplicação do carvão ativado por via oral pode ser o tratamento mais eficiente para sustar a overdose de Theophyllina, tendo a eficiência aumentada quando administrado logo após a ingestão, sendo que em aplicações retardadas também surte efeito.

A produção de carvão é uma atividade que encerra grandes perdas do produto final em seu processo produtivo, sendo que cerca de 25% de sua massa seca são transformados em finos, devido à sua elevada friabilidade. No intuito de minimizar estas perdas, MIZOGUCHI *et al.* (1993), utilizando carvão briquetado com vários agentes dessulfurizantes, acompanharam a sua queima num forno tubular, observando que 70 a 80 % do enxofre pode ser fixado na cinza numa molécula de forma Ca-S, na proporção de 1:1,5, respectivamente.

Não bastando as perdas do processo produtivo do carvão, existem ainda as perdas das frações vaporosas e gasosas durante a carbonização da madeira, as quais podem provocar sérios problemas ambientais. FERREIRA e ALFENAS (1985) pesquisaram a ocorrência de injúrias em folhas de *Eucalyptus* spp, tendo como principal causa a deposição de ácido pirolenhoso sobre estas. As plantas afetadas encontravam-se na região circunvizinha de carvoarias, com as folhas apresentando um forte odor de fumaça e lesões necróticas de diversas dimensões. Estes estudos denotam a importância de se promover a coleta dos compostos gasosos liberados pela madeira, durante a sua carbonização.

Nas análises da composição química dos ácidos pirolenhosos, por caracterização das frações polares e semi-polares do óleo da pirólise de madeira, são observados compostos com alto peso molecular na fração

polar, sendo estes os ácidos gordurosos (fatty acids), os ácidos resinosos e os componentes de um tipo de esteróide. As amostras de cerne e de casca apresentam menores teores de ácidos resinosos e gordurosos que as do alburno, sendo que os esteróides identificados apresentam um elevado potencial farmacêutico (PAKDEL *et al.*, 1992).

LONGLEY *et al.* (1992) observaram que o levoglucosam (1,6 anidro - β - D - glucopyranose) é o componente químico mais presente no ácido pirolenhoso, chegando a representar cerca de 42% da fração líquida. Devido ao crescente interesse pelos condensados pirolenhosos da biomassa florestal, como um insumo destinado às indústrias química e farmacêutica, utilizado na manufatura de plásticos biodegradáveis, etc., novos métodos com elevados rendimentos para isolar o componente estão sendo desenvolvidos. Na indústria florestal, porém, o líquido pirolenhoso tem a sua mais antiga aplicação na proteção da madeira contra agentes degradantes. LEKTORSKIJ *et al.* (1958), demonstraram que o tratamento da madeira com o alcatrão vegetal, numa concentração de 6%, promove o controle de *Coniophora cerebella*, *Pollyporus squamosus* e *Lenzites sepiaria*, aplicando-o puro ou após tratamento com solventes orgânicos. Segundo NORDSTROM (1960), os gases não condensáveis da madeira, após submetidos ao processo de purificação, podem ser adicionados ao óleo diesel, numa proporção de 20 a 25%, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem do Material Lenhoso

As árvores-amostra foram abatidas durante um trabalho de manejo florestal conduzido no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Foram amostradas cinco árvores representativas, para a caracterização de cada uma das oito espécies florestais

estudadas, apresentadas no Quadro 1. Adotou-se como espécie testemunha o Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden).

Após abatidas, de cada árvore-amostra foram retirados seis discos de madeira, com aproximadamente três centímetros de espessura, para a realização das análises físico-químicas. Os discos foram retirados nas seguintes alturas do fuste: o primeiro à 0,3 metro do solo, o segundo à 1,30 metro (à altura do peito) e os quatro restantes à 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Ainda no campo o material foi acondicionado em embalagens plásticas devidamente identificadas, sendo em seguida encaminhado ao Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Determinação das Densidades Básicas da Madeira e da Casca

Os seis discos de madeira, das respectivas árvores-amostra, foram quarteados, sendo que duas cunhas opostas entre si, de cada disco, foram utilizadas na determinação da densidade básica ponderada da árvore (lenho e casca), em g/cm^3 , pelo método da imersão em água ou hidrostático (VITAL, 1984). Considerando-se que durante a determinação da densidade a casca somente foi separada da madeira, sem alterar as demais características do material lenhoso, as respectivas porções, obedecendo-se as proporções originais, foram novamente juntadas para a continuidade das análises.

Destilação Seca do Material Lenhoso

Amostras de madeira com casca foram cavaqueadas e secas até 0% de umidade em uma estufa regulada a 105 ± 3 °C. Em seguida, o material a.s. (absolutamente seco) foi submetido ao processo de destilação seca. Cada uma das espécies florestais foi destilada quatro vezes, sendo duas à temperatura máxima de 250 graus centígrados e duas à temperatura máxima de 400 graus

Número	Nome Vulgar	Nome Científico
1	Abricó de Macaco	<i>Couroupita guianensis</i> Aubl.
2	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.
3	Angico-Branco	<i>Piptadenia peregrina</i> (L.) Benth
4	Aroeira	<i>Astronium urundeuva</i> (Fr. Allem.) Engl.
5	Flamboyant	<i>Delonix regia</i> Ras.
6	Guapuruvu	<i>Schizolobium parahybum</i> (Vell.) Blake
7	Pau-Jacaré	<i>Piptadenia gonçacantha</i> (Mart.) Macbr.
8	Pau-Mulato	<i>Calycophyllum sprussiana</i> Benth.
9	Eucalipto	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden

centígrados.

No decorrer das destilações os vapores liberados foram condensados, quantificados e armazenados para análises posteriores. O carvão vegetal, produzido num cadinho metálico acondicionado dentro de uma mufla adaptada, também foi quantificado e devidamente armazenado. Os gases incondensáveis, com alguns constituintes inflamáveis na sua composição, foram queimados na saída do sistema de condensação e quantificados por diferença de massa. Com as respectivas massas de cada um destes produtos foi possível determinar os rendimentos gravimétrico em carvão, em líquido pirolenhoso e em gases incondensáveis.

Análise Química Imediata do Carvão

Uma vez quantificado, uma fração do carvão foi separada, macerada e peneirada, sendo que o carvão com granulometria inferior à 1,00 mm e superior à 0,25 mm foi armazenado em um recipiente de vidro aberto, que foi levado para uma estufa regulada a 105 ± 3 °C, até que a amostra atingisse o seu peso seco. Cadinhos de porcelana foram limpos e postos para secar na estufa, para que perdessem por completo a umidade de adsorção e não implicassem em erros na pesagem das amostras. Foram efetuadas duas análises por amostra de carvão, com alíquotas de 1 grama.

Durante a análise do teor de matérias voláteis, os gases ainda existentes no carvão foram queimados e quantificados por diferença de massa, a 950 °C. Posteriormente, o material foi calcinado a 750 °C e a cinza residual foi quantificada. Com as respectivas massas foi possível determinar os teores de materiais voláteis, de cinza e, por diferença, de carbono fixo no carvão vegetal. O rendimento em carbono fixo resultou do produto do rendimento gravimétrico em carvão com o teor de carbono fixo.

Análise Química do Líquido Pirolenhoso

Após as destilações secas o líquido pirolenhoso foi coletado, quantificado e deixado em repouso para a decantação do alcatrão insolúvel, mais denso do que o ácido pirolenhoso. Após a calibragem de um pHmetro, iniciava-se a determinação do pH das diferentes frações do líquido pirolenhoso, sendo primeiramente analisado o ácido pirolenhoso, em seguida o alcatrão insolúvel e, por último, ambas as frações homogeneizadas. O tempo de estabilização para a leitura do pH foi estabelecido em 1 minuto. Ao término de cada medição de pH o sensor (eletrodo) do pHmetro era lavado com NaOH (100 g/l) e água destilada, sendo, em seguida, seco com papel toalha, para que os resultados não fossem mascarados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 2 apresenta as densidades básicas ponderadas do lenho e da casca das espécies florestais estudadas, em g/cm³.

No caso da madeira, observou-se que somente a Aroeira e o Pau-Jacaré apresentaram densidades superiores àquela apresentada pela testemunha. A princípio, a densidade elevada indica uma característica física positiva ao tratar-se da produção de carvão vegetal, considerando-se que uma maior massa de material lenhoso poderá ser carbonizada por fornada. Todavia, este parâmetro não pode ser considerado isoladamente, devendo ser avaliado juntamente com outras variáveis físicas e químicas importantes do material lenhoso, que também mantêm considerável influência sobre as características do carvão vegetal. A casca da testemunha foi a que apresentou a menor densidade básica. Todavia, os efeitos decorrentes deste fato não são significativos, uma vez que os teores de casca das espécies florestais estudadas são relativamente baixos, em média de 8 a 15%.

O Quadro 3 apresenta os rendimentos obtidos em carvão vegetal (RCV), em líquido pirolenhoso (RLP) e em gases incondensáveis (RGI), das espécies florestais estudadas, utilizando-se a temperatura máxima de 250 graus centígrados durante a destilação seca. Considerando-se que os rendimentos em carvão foram calculados com base na massa original de material lenhoso e não em relação ao volume, à temperatura máxima de destilação de 250 graus centígrados não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os rendimentos gravimétricos em carvão das respectivas espécies florestais. Se os rendimentos volumétricos também fossem analisados, supõe-se que as espécies com menores densidades apresentariam os piores resultados, caso que se aplica, por exemplo, ao Guapuruvu.

O Abricó de Macaco foi a espécie que apresentou o menor rendimento em gases condensáveis e, em consequência, o maior rendimento em gases incondensáveis. Desta

forma, se a principal intenção for a obtenção de grandes quantidades de líquido pirolenhoso, deve-se evitar a utilização da referida espécie florestal. Por outro lado, se almeja-se a geração de grandes volumes de gases combustíveis, recomenda-se a utilização da mesma.

O Quadro 4 apresenta os rendimentos obtidos em carvão vegetal (RCV), em líquido pirolenhoso (RLP) e em gases incondensáveis (RGI), das espécies florestais estudadas, utilizando-se a temperatura máxima de 400 graus centígrados durante a destilação seca. A temperatura máxima de destilação de 400°C não foram detectadas diferenças estatísticas significativas entre os rendimentos gravimétrico em carvão, em gases condensáveis e em gases incondensáveis, das espécies florestais analisadas. Desta forma, quando direcionadas para fins energéticos, as espécies estudadas apresentarão resultados semelhantes, quando adotada a temperatura máxima de 400 graus centígrados. Vale lembrar que, além dos parâmetros ora analisados, também deverão ser considerados outros fatores, tais como: ritmo de crescimento da espécie, exigências edafo-climáticas, idade de rotação, outros usos, frequência de ocorrência, trabalhabilidade do material lenhoso, qualidade dos insumos energéticos, dentre outros.

A análise dos resultados observados após a destilação seca dos materiais lenhosos, adotando-se a temperatura máxima de 400 graus centígrados, mostra uma sensível redução dos rendimentos gravimétricos, com o conseqüente aumento dos rendimentos em gases inflamáveis e dos vapores condensáveis, quando comparados com os resultados observados após a adoção da temperatura máxima de destilação de 250 graus centígrados (Quadro 3). Considerando-se o aumento da liberação de gases e de vapores com o aumento da temperatura de destilação e, que a carbonização convencional se processa em temperaturas ao redor de 500 graus centígrados, os resultados obtidos enfatizam a necessidade da coleta dos gases condensáveis e não-condensáveis, visando-se o melhor aproveitamento da biomassa florestal.

O Quadro 5 apresenta os teores de materiais voláteis (TMV), de carbono fixo (TCF) e de cinza (TCZ), obtidos a partir da análise química imediata do carvão das espécies florestais estudadas, produzido à temperatura máxima de destilação de 250 °C.

Nas condições em que foi obtido, o carvão analisado não apresentou diferenças estatísticas entre os teores de materiais voláteis, mesmo sendo observado uma diferença de 11% entre o Guapuruvu (maior teor) e a Andiroba (menor teor). Entre os teores de carbono fixo também não foram detectadas

QUADRO 2 - Espécies Florestais Estudadas com os Respectivos Valores Médios das Densidades Básicas Ponderadas da Madeira e da Casca, em g/cm³

Espécie Florestal	Densidade Básica Ponderada (g/cm ³)	
	Madeira	Casca
Abricó de Macaco	0,29 g	0,36 h
Andiroba	0,48 d	0,44 f
Angico-Branco	0,50 c	0,42 g
Aroeira	0,72 a	0,68 a
Flamboyant	0,38 f	0,61 b
Guapuruvu	0,24 h	0,52 c
Pau-Jacaré	0,63 b	0,49 e
Pau-Mulato	0,46 e	0,50 d
Eucalipto	0,50 c	0,35 i

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 3 - Valores Médios dos Rendimentos em Carvão Vegetal (RCV), em Líquido Pirolenhoso (RLP) e em Gases Incondensáveis (RGI), das Espécies Florestais Estudadas, à Temperatura Máxima de 250 °C

Espécie Florestal	Parâmetros Avaliados (%)		
	RCV	RLP	RGI
Abricó de Macaco	39,48 a	13,12 b	47,43 a
Andiroba	41,83 a	31,52 ab	26,66 ab
Angico-Branco	40,73 a	37,73 a	21,54 b
Aroeira	40,11 a	34,26 ab	25,63 ab
Flamboyant	36,96 a	34,26 ab	28,79 ab
Guapuruvu	45,16 a	31,76 ab	23,08 ab
Pau-Jacaré	40,36 a	39,76 a	20,02 b
Pau-Mulato	39,01 a	36,82 ab	24,16 ab
Eucalipto	42,00 a	37,00 a	21,00 b

*Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 4 - Valores Médios dos Rendimentos em Carvão Vegetal (RCV), em Líquido Pirolenhoso (RLP) e em Gases Incondensáveis (RGI), das Espécies Florestais Estudadas, à Temperatura Máxima de 400 °C

Espécie Florestal	Parâmetros Avaliados (%)		
	RCV	RLP	RGI
Abricó de Macaco	36,88	24,85	38,26
Andiroba	32,91	38,92	28,17
Angico-Branco	29,41	41,95	28,64
Aroeira	34,60	34,34	31,06
Flamboyant	33,11	33,36	33,53
Guapuruvu	28,26	38,60	33,18
Pau-Jacaré	30,68	41,63	27,69
Pau-Mulato	31,76	41,22	27,02
Eucalipto	33,59	41,00	25,41

As médias dos tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, ao nível de 99% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 5 - Valores Médios dos Teores de Materiais Voláteis (TMV), de Cinza (TCZ) e de Carbono Fixo (TCF), no Carvão Vegetal das Espécies Florestais Estudadas, Obtidos à Temperatura Máxima de 250 °C

Espécie Florestal	Parâmetros Avaliados (%)		
	TMV	TCZ	TCF
Abricó de Macaco	29,37 a	5,00 a	65,63 a
Andiroba	29,25 a	5,00 a	67,75 a
Angico-Branco	30,25 a	1,75 cd	68,00 a
Aroeira	34,50 a	2,25 cd	63,25 a
Flamboyant	33,00 a	4,50 ab	62,50 a
Guapuruvu	40,50 a	5,00 a	54,50 a
Pau-Jacaré	38,50 a	2,00 cd	59,50 a
Pau-Mulato	35,00 a	3,25 bc	60,25 a
Eucalipto	31,00 a	0,67 d	68,33 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 6 - Valores Médios dos Teores de Materiais Voláteis (TMV), de Cinza (TCZ) e de Carbono Fixo (TCF), no Carvão Vegetal das Espécies Florestais Estudadas, Obtidos à Temperatura Máxima de 400 °C

Espécie Florestal	Parâmetros Avaliados (%)		
	TMV	TCZ	TCF
Abricó de Macaco	18,00 a	5,00 a	77,00 a
Andiroba	24,00 a	5,00 a	71,00 a
Angico-Branco	17,25 a	1,75 cd	81,00 a
Aroeira	26,00 a	2,25 cd	71,75 a
Flamboyant	26,00 a	4,50 ab	69,50 a
Guapuruvu	12,75 a	5,00 a	82,25 a
Pau-Jacaré	24,75 a	2,00 cd	73,25 a
Pau-Mulato	22,00 a	3,25 bc	74,75 a
Eucalipto	21,44 a	0,67 d	77,89 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

QUADRO 7 - Valores Médios dos Rendimentos em Carbono Fixo (RCF) do Carvão Vegetal, Obtido às Temperaturas Máximas de Destilação de 250 °C e de 400 °C

Espécie Florestal	Parâmetros Avaliados (%)	
	RCF (250 °C)	RCF (400 °C)
Abricó de Macaco	25,91	28,40
Andiroba	27,50	23,37
Angico-Branco	27,70	23,82
Aroeira	25,37	24,82
Flamboyant	23,10	23,01
Guapuruvu	24,61	23,24
Pau-Jacaré	24,01	22,47
Pau-Mulato	23,50	23,74
Eucalipto	28,69	26,16

As médias dos tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

diferenças estatísticas significativas, apesar da diferença de 13,83% observada entre o maior e o menor valor. A não significância das diferenças entre as médias dos teores de materiais voláteis e de carbono fixo, provavelmente, ocorreu devido ao uso de um pequeno número de repetições e do elevado desvio padrão entre os valores observados. Na análise dos teores de cinza foram detectadas diferenças significativas entre algumas espécies. O Angico-Branco, apesar de ter apresentado o menor valor, não diferiu estatisticamente da Aroeira, do Pau-Jacaré, do Pau-Mulato e do Eucalipto. Quando o teor de cinza for um fator limitante para o uso do carvão vegetal, deve-se optar por aquelas espécies florestais que resultem em carvão com um menor teor de cinza.

O Quadro 6 apresenta os valores médios dos teores de materiais voláteis (TMV), de carbono fixo (TCF) e de cinza (TCZ), observados após a análise química imediata do carvão das espécies florestais estudadas, produzido à temperatura máxima de destilação seca de 400 °C.

Os valores médios dos teores de materiais voláteis e de carbono fixo não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si.

Comparando-se os resultados da análise química imediata do carvão produzido a 250 °C (Quadro 5) com aqueles referentes ao carvão produzido a 400 °C (Quadro 6), observa-se, no segundo caso, o aumento relativo do teor de carbono fixo e a diminuição do teor de materiais voláteis. Isto ocorreu em função do aumento da temperatura máxima de destilação, tornando mais intensa a extração dos compostos volatilizáveis da madeira, sob a ação da energia térmica.

A composição inorgânica é uma característica intrínseca da madeira de cada espécie ou do carvão derivado da mesma, constituindo o resíduo da queima destes insumos energéticos (cinza). Portanto, o seu teor não sofre diferenciação entre as temperaturas máximas estudadas, dentro da mesma espécie, mantendo o mesmo comportamento do ponto de vista estatístico.

O Quadro 7 apresenta os valores médios dos rendimentos em carbono fixo (RCF), do carvão das espécies florestais estudadas, obtidos às temperaturas máximas de 250 e de 400 graus centígrados.

Como o rendimento em carbono fixo é o produto do teor de carbono fixo (TCF) com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal (RCV), ou seja, associando um parâmetro qualitativo com um quantitativo, há possibilidade de uma melhor avaliação das características do carvão derivado de cada uma das espécies florestais.

Os rendimentos em carbono fixo do carvão vegetal das espécies florestais estudadas, observados em ambas as temperaturas máximas de destilação, não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si. O que se pode observar foi que a maioria das espécies apresentaram, para o carvão produzido à 400 graus centígrados, uma pequena redução em seus rendimentos em carbono fixo, quando comparados com os respectivos rendimentos obtidos à temperatura de 250 graus centígrados. Somente apresentaram elevação em seus rendimentos o Abricó de Macaco e o Pau-Mulato. Para uma avaliação mais precisa, parece necessário o aumento do número de repetições por espécie. O Quadro 8 apresenta os valores médios do pH do ácido pirolenhoso (01), do alcatrão insolúvel (02) e de ambas as frações, devidamente homogeneizadas (03), após as destilações secas das espécies florestais, às temperaturas máximas de 250 °C e de 400 °C.

Observa-se, para as duas temperaturas máximas de destilação, que os pHs apresentaram-se bastante baixos, confirmando o caráter ácido dos componentes do líquido pirolenhoso. Percebeu-se, também, que as diferenças entre os pHs das três fases do líquido pirolenhoso e entre as espécies, numa mesma temperatura máxima de destilação, foram muito pequenas. Foi perceptível um pequeno acréscimo nos valores do pH das amostras obtidas à 400 °C, quando comparadas àquelas derivadas das destilações secas à 250 °C.

QUADRO 8 - Valores Médios dos pHs Observados no Ácido Pirolenhoso (1), no Alcatrão Insolúvel (2), e nas Frações Homogeneizadas (3), dos Líquidos Pirolenhosos, das Espécies Florestais Estudadas, Obtidos às Temperaturas Máximas de Destilação de 250 °C e de 400°C

Espécie Florestal	pH					
	250 °C			400 °C		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Abricó de Macaco	—	—	2,94	—	—	2,80
Andiroba	2,64	2,62	2,62	2,52	2,52	2,50
Angico-Branco	2,45	2,46	2,47	2,75	2,62	2,79
Aroeira	2,29	2,30	2,26	2,44	2,43	2,44
Flamboyant	—	—	—	2,66	2,66	2,65
Guapuruvu	2,40	2,39	2,39	2,60	2,60	2,68
Pau-Jacaré	2,13	2,15	2,23	2,20	2,24	2,25
Pau-Mulato	2,51	2,52	2,55	2,52	2,58	2,59

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Sob as condições previamente estabelecidas para o desenvolvimento da presente pesquisa, concluiu-se que:

Quando a densidade básica foi utilizada como parâmetro de avaliação das potencialidades energéticas, destacaram-se o Pau-Jacaré e a Aroeira. Ambas as espécies apresentaram densidades básicas elevadas, permitindo a carbonização de uma maior massa de material lenhoso por batelada e produzindo um carvão vegetal mais denso. Em contrapartida, o Guapuruvu e o Abricó de Macaco apresentaram os menores valores médios para a densidade do lenho, não sendo, portanto, indicados para a produção de carvão vegetal que, certamente, apresentaria baixa densidade e altas porosidade, friabilidade e higroscopicidade.

Em relação às avaliações quantitativas dos produtos coletados durante a destilação seca das espécies florestais, observou-se que todas apresentaram níveis significativos e semelhantes ao da testemunha. Desta

maneira, as espécies analisadas podem ser indicadas para a produção de insumos energéticos, uma vez que apresentaram rendimentos semelhantes ou superiores àqueles apresentados pelo Eucalipto (*Eucalyptus grandis*).

Considerando-se que ocorre o aumento da liberação de gases e de vapores com o aumento da temperatura de destilação e, que a carbonização convencional se processa em temperaturas ao redor de 500 °C, os resultados observados enfatizam a necessidade da coleta dos gases condensáveis e incondensáveis, com vistas à otimização do uso da biomassa florestal.

A análise química imediata do carvão indicou que todas as espécies florestais analisadas poderiam ser satisfatoriamente utilizadas para a produção de insumos energéticos. Porém, caso haja alguma restrição à utilização de carvão vegetal com alto teor de cinza, recomenda-se o uso do carvão derivado da Aroeira, do Angico-Branco e do Pau-Jacaré, cujos teores de cinza equipararam-se àqueles apresentados pelo Eucalipto.

Levando-se em consideração todos os parâmetros avaliados, concluiu-se que as espécies florestais estudadas demonstraram

um elevado potencial, podendo ser utilizadas para fins energéticos. Entretanto, dentre as espécies avaliadas, a Aroeira, o Pau-Jacaré e o Angico-Branco mostraram-se superiores às demais, em função da maior densidade básica do lenho e do baixo teor de cinza do carvão. Vale lembrar que, para uma indicação mais segura, fatores como ritmo de crescimento, exigências edafo-climáticas, idade de rotação, usos alternativos, frequência de ocorrência, dentre outros, também devem ser considerados.

A confirmação das potencialidades energéticas das espécies aqui avaliadas é o passo inicial para que as mesmas sejam introduzidas, consorciadas com o Eucalipto, nos plantios puros. Isto, certamente, amenizaria os impactos ambientais provocados pela monocultura e contribuiria sobremaneira para diminuir a grande pressão sobre as espécies nativas com baixo potencial energético.

LITERATURA CITADA

ABCP - Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel. *Normas Técnicas*. São Paulo, SP, s.d.

ABRACAVE - Associação Brasileira de Florestas Renováveis. *Anuário Estatístico de 1995*. Belo Horizonte, MG, 1995. 18p.

ABREU, H. S. *Isolamento e caracterização de algumas ligninas guaiacilicas-siringilicas*. São Paulo, SP, USP / Instituto de Química, 1990. 211p. (Tese de Doutorado)

ADLER, E. Lignin chemistry - past, present and future. *Wood Science and Technology*. 11: 169-218, 1977.

ANDRADE, A. M. *Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e*

na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1993. 105p. (Tese de doutoramento)

_____. *Influência da casca de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1989. 86p. (Tese M.S.)

ANDRADE, A. M.; RIOS, N. A.; BARDDAL, S. M. *Influências do manejo na produção, nas características tecnológicas da madeira e na proteção florestal*. Seropédica, RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Instituto de Florestas - IF, Imprensa Universitária, 1990. 99p.

AROLA, R. A. Wood fuels - how do they stack up? *Forest Products Research Society*. Atlanta, Georgia, Nov./1976, 15-17. 12p.

ASSIS, P. S.; MARINHO, L. Z. A.; PORTO, F.M. Utilização do carvão vegetal na siderurgia. In: PENEDO, W.R. *Produção e utilização de carvão vegetal*. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.279-318, 1982.

ASTM - American Society for Testing and Materials. *Standard method for chemical analyses of wood charcol*. Phyladelphia, 1977. 1042p.

BARBOSA, O. Anéis de crescimento. São Paulo, SP, *Publ. IF*, 12, p.13-20, 1977.

BEALL, F. C.; BLANKENHORN, P. R.; MOORE, G. R. Carbonized wood physical properties and use as an SEM preparation. *Wood Science*. 6(3):212-219, Jan./1974.

BEALL, F. C. Introduction to thermal analysis in the combustion of wood. *Wood Science*. 5(2):102-108, 1972.

- BRASIL, M. A. M. *Densidade básica e características das fibras da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden aos três anos de idade*. Piracicaba, SP, USP/ESALQ, 1976. 126p. (Tese de Doutorado)
- BRAUNS, F.E. & BRAUNS, D.A. *The chemistry of lignin*. Supplement, New York, Academic Press, 1960. 804p.
- BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. Piracicaba, SP, *IPEF* (16):63-70, Jun./1978.
- BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Comportamento de madeiras naturais do Maranhão, frente ao processo de destilação seca. *BRASIL FLORESTAL*, 11 (45) 47-56, Mar./1981.
- BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I- Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. Piracicaba, SP, *IPEF*, (14): 9-20, Jul./1977.
- BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: II- Densidade da madeira X densidade do carvão. Piracicaba, SP, *IPEF*, (20): 121-6, Jun./1980.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; MIGLIORINI, A.J.; SEIXAS, F.; MURAMOTO, M.C. Análise da produção energética e de carvão vegetal de nove espécies de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 4º, Belo Horizonte, MG, 1982. Silvicultura, *Anais*, São Paulo, SP, SBS, p.742-44, 1983.
- BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. *Química da Madeira*. Piracicaba, SP, ESALQ/USP, 1983. 126p. (Apontamentos de Aula da disciplina LSV 494 - Química da Madeira)
- BRITO, J. O. & NUCCI, O. Estudo tecnológico da madeira de *Pinus* spp para a produção de carvão vegetal e briquetagem. Piracicaba, SP, *IPEF* (26):25-30, 1984.
- BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. *Textbook of Wood Technology*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1949. 652p.
- BROWNING, B. L. *The chemistry of wood*. Huntington, New York, 1975. 689p.
- BROWN, N. C. & BETHEL, J. S. *La industria maderera*. México, Ed. Limusa-Wiley S.A., 1965. 397p.
- 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.
- COUTINHO, A. R. & FERRAZ, E. S. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. Piracicaba, SP, *IPEF* (38): 33-37, abril/1988.
- D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: *Celulose e Papel - Tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. Vol. I, 2.ed., São Paulo, SP, SENAI/IPT, p.45-106, 1988.
- DOAT, J. & PETROFF, G. La caracterization des bois tropicaux. *Revue bois et forêts des tropiques*. Nogent-Sur Marne (159): 55-72, 1975.
- FAIRBRIDGE, C. & ROSS, R. A. The thermal

- reactivity of wood waste systems. *Wood Science and Technology*, 12: 169-85, 1978.
- FERNANDES, P. S. Qualidade da madeira e os fatores do meio. São Paulo, SP, *Publ. IF*, 12, p. 01-12, 1977.
- FERREIRA, A. F. & ALFENAS, A.C. Injúrias em folhas de *Eucalyptus* spp. causadas por condensados pirolenhosos originados em fornos de carvoejamento. *Revista Arvore*, 9 (2): 186-190, 1985.
- FERREIRA, C. A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp em função da idade e qualidade de local. In: I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira, IPEF/ABCP, Piracicaba, SP, *Boletim Informativo*, 6 (20):B1-B19, 1978.
- FERREIRA, M. & KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira, IPEF/ABCP, Piracicaba, SP, *Boletim Informativo*, 6 (20):A1-A14, 1978.
- FOELKEL, C.E.B. *Constituição química da madeira / qualidade da madeira*. CENIBRA/UFV, Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1977.
- FOELKEL, C. E. B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. In: I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira, IPEF/ABCP, Piracicaba, SP, *Boletim Informativo*, 6 (20):E1-E25, 1978.
- FORSAITH, C. C. *The technology of New York State Timbers*. Syracuse, New York, Syracuse University, 1926. 374p.
- GOMES, F. P. *Curso de Estatística Experimental*. 11ª ed., Piracicaba, SP, Livraria Nobel S.A., USP/ESALQ, 1985. 466p.
- GOMES, P.A. & OLIVEIRA, J.B.de. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W.R. *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.27-41, 1980.
- GORING, D. A. I. The physical chemistry of lignin. In: *Wood Chemistry*. Wood Chemistry Symposium, Montreal-Canadá, 1961. London Butterworths, p.233-254, 1962.
- JUVILLAR, J. B. Tecnologias de transformação da madeira em carvão. In: PENEDO, W.R. *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, MG, CETEC-Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.67-82, 1980.
- KANURY, A.M. & BLACKSHEAR, P.L. Some considerations pertaining to the problem of wood burning. In: *Combustion Science and Technology*, 1, 1970.
- KING, G. *Wood for energy*. Commonwealth Forestry Review. 59 (2) 181-192, 1980.
- KLING, S. H. Etanol a partir da madeira. In: PENEDO, W.R. *Uso da madeira para fins energéticos*. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.83-99, 1980.
- KOLLMANN, F. & SACHS, I. B. The effects of elevated temperature on certain wood cells. In: *Wood Science and Technology*. 1: 14-25, 1967.
- KOLLMANN, F. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Madrid, Inst. Forestal de Investigaciones y Experiencias y el Servicio de la Madera, 1959. 675p.
- LEKTÖRSKIJ, D. N. & BABOCKIN, P. N. *The use of gas-generator wood tar for wood preservation*. Gdrol. lesohim. Prom. 11 (5) 14-15, 1958.

- LONGLEY, C. J.; HOWARD, J.; FUNG, D. P. C. *Levoglucosan recovery from cellulose and wood pyrolysis liquid*. British Columbia Res. Corporation, Vancouver, B.C. Can V6S 212. Adv. Thermochem. Biomass Convers. Ed. Rev. Pap. Inst. Conf. 2, 1441-1451, mar/92, Pub. 1994.
- MAGALHÃES, J.G.R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: PENEDO, W.R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.55-66, 1980.
- MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: PENEDO, W.R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.09-26, 1980.
- MATOS, M.de; ALMEIDA, M.R.de; OLIVEIRA, L.T.de. Características dos produtos da carbonização da madeira. In: PENEDO, W. R. **Gaseificação de madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.111-131, 1981.
- MENDES, A.P.C.S. Fisiologia da síntese dos constituintes da madeira. In: PENEDO, W.R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.143-158, 1980.
- MILTON, N.A. & HENRY, J.A. Poisons Unit, Guy's Hospital, London, UK SE 19 RJ. Toxicol, **Clin. Toxicol**, 33 (1) 43-49, 1995.
- MIZOGUCHI, CHUICHI, KOIZUMI, SHIGERV; YAMAMOTO, Y.; HAGINO, T.; TAKARADA, T. **Combustion characteristics of coal/biomass composite solid fuel**. (bio-Coal) Conf. Proc. - Int. Conf. Coal Sci. 214-217, 01-07-1993.
- NORDSTRÖM, O. **Wood still interest as a motor fuel**. Wald u Holz. 42 (1) 13-15, 1960.
- OLIVEIRA, E.de. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1988,47p. (Tese M.S.).
- OLIVEIRA, J.B.de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P. A. Caracterização e otimização do processo de fabricação de carvão vegetal em fornos de alvenaria. In: PENEDO, W.R. **Carvão Vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.63-102, 1982.
- OLIVEIRA, J.B.de; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R.de. Propriedades do carvão vegetal. In: **Carvão Vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.39-61, 1982.
- OLIVEIRA, J.B.de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, p.59-73, 1982.
- PAKDEL, H.; ZHANG, H.G.; ROY, C. **Detailed chemical characterization of biomass pyrolysis oil, polar fractions**. Dep. Chem. Eng., Univ. Laval Adv. Thermochem. Biomass Convers. 3rd. 1992 (Pub. 1994). 2, 1068-1085, Glasgow, UK.
- PANSHIN, A.J. & ZEEUW, C.de. **Textbook of wood technology**. 4.ed., New York, McGraw-Hill Book Company, 1980. 722p.

- PEARL, I.A. *The chemistry of lignin*. New York, Marcel Dekker, Inc., 1967. 339p.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.de; BARROS, N.F.de; FONSECA, A.G.da; LEAL, P.G.L.; DELLA LUCIA, M.A.; GOMES, J.M. Produção de biomassa e acumulação de nutrientes em florestas de ciclos-curtos. Viçosa, MG, SIF/IBDF, *Relatório Anual*, 1984. 60p.
- PINHEIRO, T. B. *Manual do Fundidor*. 4ª ed., Diário de Notícias, Rio de Janeiro, RJ, s.d. 231p.
- RAMALHO, R. S. *O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1987. np
- RICHARDSON, B.; WATKINSON, A. P.; BARR, P. V. Combustion of lignin in a pilot lime kiln. In: *Tappi Journal*, p.133-137, december/1990.
- SHAFIZADEH, F.; SARKANEN, K. V.; TILLMAN, D. A. *Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins*. New York, Ac. Press, 1976. 320p.
- SHAFIZADEH, F. The chemistry of pyrolysis and combustion. In: ROWELL, R. *The chemistry of solid wood*. Washington, D.C., American Chemical Society, p.489-529, 1984.
- SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados à madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. Piracicaba, SP, IPEF, (34):31-34, dezembro/1986.
- SJOSTROM, E. *Wood chemistry - fundamentals and applications*. New York, Academic Press, 1981. 223p.
- SLOCUM, D.H. Charcoal yield shrinkage and density changes during carbonization of oak and hickory woods. In: *Wood Science*, 1:42-7, Jul./1978.
- SOLITATU, W. F.; MOT, D. I. E.; VAN LOO, S. *Clear burning of firewood requires advanced technology*. Nelt. Polytech.Tydschr. 48 (11) 38-41, 1993.
- SOUZA, P. F. *Tecnologia de produtos florestais*. Rio de Janeiro, RJ, Imprensa Nacional, 1947. 409p.
- THE FOREST PRODUCTS LABORATORY/ FOREST SERVICE/U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. In: *Wood Handbook*. 72, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1955. 528p.
- THIBAU, C. E. & AZAMBUJA, D. Grupo de Trabalho-Carvão Vegetal/Siderurgia (GT-CVS). In: *Relatório Final*. Minist. da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Fevereiro/ 1973.
- TOMAZELLO FILHO, M. Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. Piracicaba, SP, IPEF, (29):25-36, abril/ 1985.
- VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. *Revista Árvore*, 10 (2):151-60, 1986.
- VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG, SIF - Sociedade de Investigações Florestais, *Boletim Técnico*, 01, 1984. 21p.
- VITAL, B. R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS, N.F.de. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, MG, Ed. Folha de Viçosa, p.323-330, 1990.

WENZL, H. F. S. *The chemical technology of wood*. New York, Ac.Press, 1970. 692p.

WHITE, R. H. Effect of lignin content and extratives on the higher heating value of wood. *In: Wood and fiber science*. 19(4): 446-452, October/1987.

YANTORNO, J.A. *La industria de la destilacion de leña y sus derivados*. Buenos Aires, Imp. Isely & Cia., 1933. 661p.

ZOBEL, B. & TALBERT, J. *Applied forest tree improvement*. New York, John Wiley & Sons