

Estudo de Caso de uma Planta de Carbonização: Avaliação de Características e Qualidade do Carvão Vegetal Visando Uso Siderúrgico

Natalia Dias de Souza¹, Juliana Bernardo Amodei¹, Carolina Nogueira Xavier¹,
Ananias Francisco Dias Júnior², Alexandre Monteiro de Carvalho¹

¹Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil

²Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”,
Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP, Brasil

RESUMO

O carvão vegetal é um produto de grande importância na economia brasileira, fato este ligado ao seu uso como fonte de energia renovável e redutor no setor siderúrgico. Esforços vêm sendo feitos visando à melhoria do processo de produção do carvão vegetal, o qual pode ser obtido em diferentes tipos de fornos, com rendimentos e qualidade variados. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar o levantamento das características referentes à planta de carbonização pertencente à Saint Gobain Ltda. situada no município de Seropédica/RJ e analisar quimicamente o carvão produzido. Os dados foram obtidos por meio de questionário e comparados aos de outras duas empresas do mesmo segmento. A análise das amostras de carvão vegetal foi realizada em laboratório, através da análise química imediata. Os fornos utilizados na produção de carvão vegetal existentes na planta de carbonização da empresa analisada caracterizam-se como fornos de superfície com chaminé. O rendimento médio observado da conversão da madeira em carvão vegetal foi de 50%. Na comparação com outros sistemas de carbonização, a empresa analisada apresentou valores intermediários em termos de rendimento do processo e o carvão vegetal produzido foi considerado de boa qualidade, apresentando elevado teor de carbono fixo (82,70%) e baixo teor de cinza (1,30%).

Palavras-chave: energias renováveis, siderurgia, madeira para energia.

Case Study of a Carbonization Plant: Evaluation of Features and Quality of Charcoal Aiming Steel Use

ABSTRACT

Charcoal is a product of great importance in the Brazilian economy, a fact linked to its use as a renewable energy source and reducing the steel industry. Efforts have been made aiming at improving the production process of charcoal, which can be obtained in different furnace types with varying yield and quality. Taking these factors into consideration, the aim of this study was to survey the characteristics relating to the carbonization plant belonging to the Saint Gobain Ltda. company, in the city of Seropédica/Rio de Janeiro-Brazil and chemically analyze the coal produced. The data were obtained through a questionnaire and compared to the other two companies in the same industrial segment. The analysis of charcoal samples was conducted in the laboratory through chemical analysis. The furnaces used in charcoal production in existing carbonization plant analyzed company are characterized as surface furnaces with chimney. The average output of the conversion of wood charcoal was 50%. Compared to other carbonization systems, the company analyzed showed intermediate values in terms of process yield and charcoal produced is considered good quality, with high fixed carbon content (82.70%) and low ash content (1,30%).

Keywords: renewable energy, steel industry, fuelwood.

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da madeira como fonte de energia remonta à pré-história. Com o domínio do fogo pelo homem primitivo a lenha passou a ser utilizada como principal combustível, o que acontece até hoje em muitos países ao longo do mundo.

A madeira na forma de lenha para energia, além de ser um recurso renovável, é também menos poluente, pois apresenta um ciclo fechado de dióxido de carbono, ou seja, todo o CO₂ liberado pela madeira para geração de energia é captado pelo metabolismo da floresta no processo de fotossíntese. Tal fato não ocorre com os combustíveis fósseis, que além de emitirem o CO₂ para a atmosfera, emitem outros gases poluentes como o metano, óxidos nitrosos e enxofre (Andrade & Carvalho, 1998).

O Brasil é o maior produtor e, ao mesmo tempo, o maior consumidor mundial de carvão vegetal. Em 2012, foram consumidos cerca de 33 milhões de metros cúbicos deste insumo, sendo que mais de dois terços desse volume foram destinados às indústrias siderúrgicas e metalúrgicas, sobretudo no estado de Minas Gerais (Brasil, 2013). O carvão vegetal também é utilizado para outros fins, tais como: cocção de alimentos, lareiras, termoelétricas, indústria cimenteira, purificação de água e bebidas, indústria farmacêutica, filtros de máscaras contra gases, dentre outros.

Apesar de o país ser o maior produtor mundial de carvão vegetal, a maioria das indústrias, historicamente, não demonstra tendências à inovação e adoção de tecnologias aperfeiçoadas nas atividades de carbonização, prevalecendo a conjuntura tecnológica de processos produtivos primitivos e com baixo controle operacional, que promovem a baixa eficiência energética aliada ao lançamento de produtos na atmosfera (Taccini, 2010).

Além disso, há ainda uma enorme precariedade nas atividades realizadas nas carvoarias artesanais, o que leva a execução de trabalhos em condições desumanas, incluindo nesse meio crianças e adolescentes, não sendo garantidas condições de trabalho seguras e que preservem a saúde e a vida do trabalhador, prevenindo acidentes e doenças ocupacionais.

A composição básica do carvão vegetal apresenta carbono fixo, cinzas e matérias volatilizáveis. O processo de carbonização consiste em submeter a madeira a temperaturas elevadas (acima de 180°C) em ambiente

com atmosfera controlada, mas que permita a saída de gases, vapores e líquidos diversos.

A qualidade do carvão vegetal é um dos principais aspectos para sua aceitação no mercado. Diversos são os fatores que influenciam na qualidade do carvão vegetal, mas de forma geral a qualidade depende da espécie da madeira, tamanho das peças de madeira que serviram como matéria-prima e o método de carbonização (Brito, 1990; Santos, 2008; Vale et al., 2010; Mota, 2013).

Para Oliveira et al. (1982), Meira (2002) e Vale et al. (2010) a temperatura de carbonização também é outro fator muito importante porque influi no peso do metro cúbico e no teor de carbono fixo do carvão obtido. Altas temperaturas de carbonização produzirão carvão com muito carbono fixo, mas tão frágil e miúdo que será inadequado para determinados usos.

A avaliação realizada através da chamada análise imediata fornece importantes parâmetros na predição da qualidade do carvão vegetal, sendo a mais usual neste quesito. O teor de materiais voláteis determina a facilidade de ignição, a estabilidade da chama e a velocidade de combustão. Um alto teor de voláteis facilita a ignição e a combustão. O carbono fixo é definido como a quantidade de carbono presente no carvão (Ribeiro & Vale, 2006; Arantes, 2009).

Segundo Oliveira et al. (1982) e Arantes (2009), o teor de cinzas é a massa do resíduo sólido inorgânico existente. Segundo esses mesmos autores, o carvão vegetal retém todas as cinzas da madeira de origem. O carvão pode conter até 3% de cinzas compostas, principalmente, de cálcio, potássio e fósforo, além de magnésio, ferro e silício.

A empresa siderúrgica Saint-Gobain Canalização Ltda. faz parte do grupo SAINT GOBAIN que está presente no Brasil desde 1937, onde possui empresas como Saint-Gobain Quartzolit, Saint-Gobain Vidros, Saint-Gobain Brasilit. A chegada do grupo ao Brasil se deu pela aquisição da Companhia Metalúrgica Barbará e da Brasilit. A empresa realiza a fabricação de tubos, conexões e acessórios em ferro dúctil, válvulas e equipamentos hidráulicos, tampões, tubos e conexões para esgoto predial. Para elaboração do metal, a empresa primeiramente faz uma fusão em altos fornos, utilizando carvão vegetal produzido em sua própria unidade.

Este trabalho teve como objetivo realizar o levantamento das características da planta de carbonização da empresa Saint Gobain Canalizações Ltda., comparar as informações obtidas com os dados de outras duas empresas do mesmo segmento e analisar quimicamente o carvão produzido em sua unidade de produção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado em uma planta de produção de carvão vegetal pertencente à empresa Saint Gobain Ltda. Esta unidade encontra-se situada no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, situada a 22°45'20''S de latitude e 43°41'49''W de longitude, nos limites do campus sede da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

A planta de carbonização é composta por uma área destinada à produção de carvão vegetal (áreas dos fornos, área para o depósito de lenha e área para o depósito de terra). A matéria-prima a ser carbonizada provém de povoamentos de eucalipto constituídos pelas espécies *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*.

2.2. Levantamento dos dados de carbonização

A coleta de dados foi executada por meio da aplicação de um questionário aos funcionários da empresa diretamente envolvidos com o processo de produção do carvão vegetal e também ao engenheiro florestal responsável pela atividade. O questionário foi composto por 31 perguntas abertas, visando à obtenção de informações relacionadas à matéria-prima utilizada (espécies, área plantada, espaçamento, adubação, idade de coleta); ao corte (método, tamanho das toras, produtividade, estoque); às unidades de produção (formas de enforamento, tipo, dimensões e número de fornos, formas de acendimento, ciclo e temperatura final de carbonização); ao carvão vegetal obtido (rendimento, formas de transporte, seleção) e sobre os trabalhadores envolvidos (quantidade, jornada de trabalho, regularização, etc).

Por fim, com o intuito de comparar os processos de carbonização, os dados obtidos no presente estudo foram comparados a outros dois sistemas de carbonização distintos, os quais foram analisados a

partir de informações descritas, relatadas e levantadas em detalhes em literatura atual, o que permitiu relacionar os diferentes processos de carbonização.

2.3. Análise química imediata do carvão vegetal

A análise química imediata foi conduzida segundo a norma brasileira ABNT NBR 8112:1986 (ABNT, 1986), para a determinação da umidade e dos teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas. Foram coletadas amostras simples de cada um dos fornos ativos da unidade para análises em duplicata. Os testes foram conduzidos no Laboratório de Energia da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

A fração denominada de material volátil é emitida durante o aquecimento do carvão vegetal e é constituída de moléculas de CO, CO₂ e hidrocarbonetos. Outra quantidade de carbono permanece relativamente intacta e como não sai junto com o material volátil, recebe a denominação de carbono fixo. Na prática determina-se o teor de material volátil e carbono fixo aquecendo-se o carvão até uma temperatura em torno de 950°C.

A cinza é o resíduo composto de óxidos minerais obtidos após a combustão completa do carvão. Para assegurar a combustão completa o carvão permanece na mufla por um período de 6 horas sob temperatura de 750°C. O resíduo oxidado final obtido constitui então o teor de cinzas do carvão vegetal.

2.4. Análise dos dados

Os dados levantados foram avaliados por meio da estatística descritiva, através da comparação descritiva e discutida dos sistemas de carbonização e através dos valores médios obtidos para qualidade do carvão vegetal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características da planta de carbonização

Os resultados obtidos através do questionário aplicado estão presentes na Tabela 1.

A empresa Saint Gobain Ltda. utiliza as espécies *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita* e *Corymbia citriodora* para produção de carvão vegetal. De acordo com Protásio et al. (2014) a política interna brasileira

Tabela 1. Características da planta de carbonização obtidas pelo questionário.**Table 1.** Features of the carbonization plant obtained by questionnaire.

| Quanto ao plantio |
|---|
| Espécies utilizadas para carbonização: <i>E. urophylla</i> , <i>E. pellita</i> e <i>C. citriodora</i> |
| Área total de plantio: 584 hectares |
| Ano do plantio: 1990 |
| Espaçamento: 3m x 2m |
| Adubação: Pré-plantio: Supersimples e após 1 ano NPK 20-00-20 |
| Idade de corte: 7 anos |
| Quanto ao corte |
| Abate: Utilização de motosserras |
| Comprimento das toras: 1,80 m |
| Diâmetro médio das toras: 18 cm |
| Quantidade de madeira cortada: 100 a 115m ³ /dia |
| Corte em dias de chuva: Não realiza |
| Estoque de madeira para dias de chuva: possui estoque estratégico para dias de chuva |
| Transporte de madeira: utilização de caminhões (três) com capacidade de 15-18m ³ /cada |
| Quanto a unidade de produção |
| Quantidade de fornos: 30 |
| Tipo de forno: Fornos de superfície com chaminé |
| Dimensões do forno: 6m comprimento x 3m largura x 2m altura x 0,85m de arco da capota |
| Acendimento: Isca de graveto e fósforo |
| Capacidade por forno: 35 st (metros estéres) de lenha |
| Seleção de espécie por enforamento: Não acontece |
| Temperatura de carbonização: 500°C |
| Ciclo do processo de carbonização: 12 a 15 dias |
| Área total da unidade de produção: 13.240 m ² |
| Benfeitorias: 1.384 m ² (áreas dos fornos, área para depósito de lenha e área para depósito de barro) |
| Objetivo final do carvão produzido: abastecimento dos altos-fornos para redução de ferro gusa e obtenção de energia |
| Quanto ao carvão produzido |
| Quantidade de carvão produzido por forno: 17,5 mdc |
| Quantidade de carvão produzido por dia: 51 mdc |
| Quantidade de carvão transportado por dia: 51 mdc |
| Transporte do carvão: A granel e caminhão tipo gaiola |
| Quanto aos trabalhadores |
| Situação dos trabalhadores: Possuem carteira assinada |
| Quantidade: 25 trabalhadores |
| Jornada de trabalho: 8 hs/dia |

MDC = Metro de Carvão (Quantidade de Carvão necessária para preencher um recipiente de um metro cúbico).

pretende utilizar para a produção de carvão vegetal somente florestas plantadas, pois as mesmas proporcionam maior uniformidade do carvão produzido em comparação ao carvão oriundo de florestas nativas e apresentam um ciclo relativamente curto, tornando-as mais sustentáveis, sem contar também todos os aspectos socioambientais e relativos a legalidade das atividades envolvidas.

Além disso, o uso de florestas plantadas de eucalipto na produção de carvão vegetal permite a obtenção de matéria-prima com características conhecidas devido aos

fatores como o rápido crescimento, a elevada produção de sementes e facilidade de tratamentos silviculturais.

Para Zobel (1981) a formação da madeira é um processo biológico, e até certo ponto pode-se alterar, controlar, minimizar ou melhorar os fatores relacionados à qualidade da madeira. As práticas silviculturais que afetam de forma direta a qualidade da madeira são: espaçamento inicial, fertilização mineral, manutenção, desrama, seleção de material genético e desbastes. De forma simplificada, o espaçamento adequado permite concentrar os fatores de crescimento em

árvores de características desejáveis ou de maior valor, afetando assim o crescimento das árvores, bem como a qualidade da madeira (Santos, 2008).

O diâmetro e o comprimento da tora para produção de carvão vegetal também são características a serem consideradas no aspecto da qualidade. Tais elementos influenciam na distribuição da temperatura e na qualidade do carvão. Por qualidade pode-se entender, por exemplo, fatores como a quantidade de tiços (peças mal carbonizadas) e o teor de cinzas. Essas características devem ser analisadas na compra do carvão, uma vez que podem interferir na oxigenação do alto-forno (Gomes, 2006; Mota, 2013). Para Valente (1986) toras que apresentam diâmetros maiores que 20 cm poderão produzir um carvão quebradiço, enquanto que as menores de 10 cm dificultam seu acondicionamento no interior do forno. Assim, a lenha utilizada no processo de carvoejamento analisado neste trabalho, com 18 cm de diâmetro, apresenta vantagens operacionais, melhorando a qualidade do carvão vegetal produzido.

Os fornos utilizados na unidade de produção de carvão vegetal da empresa estudada são do tipo forno de superfície com chaminé (Figura 1), apresentado um rendimento médio de 50%, ou seja, dos 35 st (metros estères) de lenha (em média) que são enforados, são produzidos 17,5 mdc (metros de carvão) por forno. Este resultado encontra-se acima do rendimento encontrado por Araújo (2005) para esse mesmo tipo de forno, que foi em média de 40%. Porém, se comparado a processos laboratoriais, o rendimento levantado no



Figura 1. Forno do tipo forno de superfície com chaminé da empresa Saint Gobain em Seropédica, RJ.
Figure 1. Furnace type area with chimney Saint Gobain in Seropédica, RJ.

presente estudo foi cerca de 15% superior aos obtidos por Brito et al. (1983), Trugilho et al. (2005), Oliveira et al. (2010) e Costa et al. (2014) para as diferentes espécies de *Eucalyptus* sp e outras espécies florestais utilizadas na produção de carvão.

Com os resultados obtidos do levantamento do processo de carbonização da Empresa Saint Gobain Ltda. (empresa A), foi realizada uma comparação com duas empresas paranaenses que apresentam sistemas de carbonização diferenciados para a produção do carvão vegetal (Tabela 2). Uma empresa encontra-se situada no município de Ipiranga-PR, com sistema de carbonização tradicional, utilizando fornos tipo “rabo quente” de superfície (empresa B) e a outra situada no município de Jaguariaíva-PR, que utiliza fornos cilíndricos verticais (empresa C). As empresas B e C foram descritas no trabalho de Colombo et al. (2006).

De acordo com a Tabela 2, observou-se que o forno de superfície com chaminé (A) apresenta valores intermediários quando comparado com o forno “rabo-quente” (B) e com o forno cilíndrico vertical (C). Estes resultados eram esperados, pois os fornos intitulados “rabo-quente” são considerados sistemas tradicionais de carbonização devido aos baixos custos e facilidade para construção, possuindo baixo nível de desenvolvimento tecnológico. Pimenta (2002) destaca que esse tipo de forno tem como característica baixo rendimento em carvão vegetal (rendimento em função do peso de lenha enforado), representando perda econômica expressiva e subutilização da lenha carbonizada.

Quando comparado o sistema de produção do forno de superfície com chaminé (A) ao sistema de produção de forno cilíndrico vertical (C), constatou-se que este último necessita de maior investimento inicial e mão-de-obra qualificada, apresentando diversas vantagens por ser um modelo moderno e mais completo. O maior aproveitamento da lenha (maior rendimento em carvão) deve ser considerado e ainda o maior e melhor controle do processo de carbonização, o que implica na melhoria da qualidade do carvão vegetal produzido. Torna-se possível a utilização dos seus subprodutos em diversos fins, proporcionando maiores rendimentos à empresa. Consequentemente, ocorre uma redução da emissão dos gases gerados pelo processo de carbonização ao ambiente, pois os

mesmos podem ser coletados ou queimados no próprio sistema, contribuindo assim para um menor impacto ambiental negativo.

3.2. Análise química imediata do carvão

Apesar da existência de normas oficiais e regulamentos para avaliação de parâmetros do carvão vegetal, não existem ainda no Brasil regulamentos para predição da qualidade do carvão vegetal nos seus diversos usos. A análise imediata tem importância relacionada com a classificação do carvão vegetal, caracterização do combustível para aplicação industrial, bem como para efeitos comparativos entre alternativas energéticas. A Tabela 3 apresenta os valores médios obtidos nos testes de análise imediata realizados em amostras de carvão vegetal coletadas na planta de carbonização analisada.

O carvão vegetal produzido pela empresa Saint Gobain Ltda. apresentou elevado teor de umidade. Este fato pode implicar na redução do rendimento térmico devido à perda de calor utilizada para evaporação da água. No entanto, deve-se evitar ao máximo que o carvão se molhe no manuseio, transporte e estocagem. Segundo Gomes (2006) para se conseguir um produto com maior poder calorífico é necessário baixo teor de umidade, pois valores superiores comprometem o rendimento do alto-forno. Essa importância é tão expressiva que cada variação de 1% na umidade chega a reduzir o rendimento gravimétrico em até 0,37% (Santos, 2008; Mota, 2013). Pôde-se observar ainda que o coeficiente de variação foi alto. Possivelmente, este fato esteja relacionado à diversidade de espécies utilizadas por enformamento.

De acordo com São Paulo (2003) para o carvão vegetal, o teor de carbono fixo (TCF) deve ser maior

Tabela 2. Dados comparativos entre os diferentes tipos de fornos.

Table 2. Comparative data between different types of furnaces.

| Caraterística | Superfície com Chaminé (A) | “Rabo Quente” (B) | Cilíndricos Verticais (C) |
|---|----------------------------|-------------------|---------------------------|
| Investimento Inicial (R\$) | 40.000,00 | 30.600,00 | 150.000,00 |
| Número de Fornos | 20,0 | 20,0 | 4,0 |
| Capacidade do forno (st de lenha) | 35,0 | 16,0 | 2,0 |
| Ciclo de carbonização (horas) | 240,0 | 240,0 | 8,0 |
| Carbonização por forno | 1,0 | 0,1 | 3,0 |
| Razão de conversão (st lenha/mdc) | 2,0 | 2,0 | 1,5 |
| Dias produtivos ao mês | 20,0 | 30,0 | 30,0 |
| Número de trabalhadores | 7,0 | 7,0 | 5,0 |
| Regime de produção (horas/dia) | 8,0 | 9,0 | 24,0 |
| Horas trabalhadas (funcionário/mês) | 160 | 160 | 180 |
| Força de trabalho (R\$/mês/funcionário) (Ano de 2008) | 700,00 | 600,00 | 1.046,00 |
| Custo estimado de manutenção mensal (R\$) | 1.600,00 | 1.000,00 | 2.160,00 |
| Custo total (R\$) | 6.500,00 | 5.200,00 | 7.390,00 |

Fonte: Tabela adaptada de Colombo et al. (2006).

Tabela 3. Valores médios dos teores de umidade, materiais voláteis (TMV), carbono fixo (TCF) e cinzas (TCZ) do carvão vegetal analisado.

Table 3. Average values of moisture, volatile matter, fixed carbon (TCF) and ash (TCZ) charcoal analyzed.

| | Umidade (%) | TMV (%) | TCF (%) | TCZ (%) |
|----------|-------------|---------|---------|---------|
| Média | 11,00 | 16,00 | 82,70 | 1,30 |
| D.P. | 2,21 | 0,22 | 0,78 | 0,44 |
| C.V. (%) | 20,09 | 1,37 | 0,94 | 33,84 |

que 75%, o teor de materiais voláteis (TMV) e o teor de cinzas devem ser menores que 23,5% e 1,5%, respectivamente. O carvão vegetal analisado apresentou baixos teores de matérias voláteis e elevados teores de carbono fixo, semelhante aos valores encontrados por Trugilho et al. (2005), Oliveira et al. (2010), para diferentes espécies e clones de *Eucalyptus*.

O teor de carbono fixo é um dos principais fatores relativos a qualidade do carvão vegetal, onde quanto mais elevado este for, melhor será a eficiência do uso do carvão. Carneiro et al. (2014) afirmam que, na produção de carvão vegetal, o carbono é convertido em carbono fixo, sendo esse o principal responsável pela energia estocada no carvão.

Com relação ao teor de cinzas não é aconselhável o uso de carvão vegetal com elevados teores, pois isto sugere que o combustível apresenta elevados níveis de minerais, o qual é prejudicial ao metal que será produzido, podendo causar segregação, implicando em uma qualidade inferior. Apesar do baixo teor de cinza, observou-se elevado coeficiente de variação. Trugilho et al. (2005) afirmam que o teor de cinza é uma característica que possui alta variabilidade, podendo ser relacionada a diversos fatores.

4. CONCLUSÕES

A empresa Saint Gobain Ltda. tem sua planta de carbonização devidamente estruturada e organizada, visto que todas as informações de plantio e da unidade atendem aos requisitos legais, sociais e ambientais, como uso de EPIs e geração de trabalho e renda para população local.

O sistema de carbonização da empresa pode ser considerado intermediário, ou seja, não é considerado artesanal ou tradicional como o “rabo-quente” ou tão moderno como o cilíndrico vertical, porém a sua produção atende as necessidades da empresa.

O forno de superfície com chaminé utilizado na produção de carvão vegetal da empresa apresentou um rendimento médio de 50%.

O carvão vegetal produzido pela empresa Saint Gobain Ltda. foi considerado de boa qualidade para utilização em altos fornos (reductor e fornecedor de energia), principalmente, pelo elevado teor de carbono fixo e baixo teor de cinza.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 24 jul., 2014

Aceito: 12 set., 2015

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Carolina Nogueira Xavier

Departamento de Produtos Florestais,
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
– UFRRJ, BR-465, Km 7, CEP 23897-000,
Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: ncarolx@gmail.com

REFERÊNCIAS

- Andrade AM, Carvalho LM. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente* 1998; 5(1): 24-42.
- Arantes MDC. *Variação das características da madeira e do carvão de um clone de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden x Eucalyptus urophylla S. T. Blake* [tese]. Lavras: Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras; 2009.
- Araújo LA. *Manual de siderurgia*. São Paulo: Arte & Ciência; 2005.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 8112: análise imediata do carvão vegetal*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. *Balço Energético Nacional* [online]. Brasília: Ministério de Minas e Energia; 2013. [citado em 2014 jan. 8]. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf
- Brito JO, Barrichelo LEG, Seixas F, Migliorini A, Muramoto MC. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais* 1983; 23(1): 53-56.
- Brito JO. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais* 1990; 9: 1-19.
- Carneiro ACO, Castro AFNM, Castro RVO, Santos RC, Ferreira LP, Damásio RAP et al. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. *Revista Árvore* 2014; 38(2): 375-381. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000200019>.
- Colombo SFOC, Pimenta AS, Hatakeyama K. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. In: *Anais do XIII Simpósio de Engenharia de Produção*; 2006; Bauru. Bauru: Universidade Estadual Paulista; 2006.

- Costa TG, Bianchi ML, Protásio TP, Trugilho PF, Pereira AJ. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. *Cerne* 2014; 20(1): 37-46. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602014000100005>.
- Gomes MTM. *Potencialidades de inserção do carvão vegetal em bolsa de mercadorias* [dissertação]. Viçosa: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa; 2006.
- Meira AM. *Diagnóstico socioambiental e tecnológico da produção de carvão vegetal do município de Pedra Bela, Estado de São Paulo* [dissertação]. Piracicaba: Departamento de Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo; 2002.
- Mota FCM. *Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de Eucalyptus sp. no Brasil* [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2013.
- Oliveira AC, Carneiro ACO, Vital BR, Almeida W, Pereira BLC, Cardoso MT. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Forestalis* 2010; 38(87): 431-439.
- Oliveira JB, Gomes PA, Almeida MR. *Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade de carvão vegetal - Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade*. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; 1982.
- Pimenta AS. *Curso de atualização em carvão vegetal*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2002. Apostila.
- Protásio TP, Goulart SL, Neves TA, Assis MR, Trugilho PF. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. *Scientia Forestalis* 2014; 42(101): 113-127.
- Ribeiro PG, Vale AT. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*; 2006; Florianópolis. Belém: Universidade Federal do Paraná; 2006.
- Santos ID. *Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado* [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2008.
- São Paulo. Governo do Estado. *Resolução nº10 de 11 de julho de 2003*. Diário Oficial do Estado de São Paulo. São Paulo (2003 jul. 11).
- Taccini MM. *Estudo de metodologias da convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal* [dissertação]. Piracicaba: Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo; 2010.
- Trugilho PF, Silva JRM, Mori FA, Lima JT, Mendes LM, Mendes LFB. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. *Cerne* 2005; 11(2): 178-186.
- Vale AT, Dias ÍS, Santana MAE. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. *Ciência Florestal* 2010; 20(1): 137-145. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981767>.
- Valente OF. Carbonização de madeira de eucalipto. *Informe Agropecuário* 1986; 12(141): 74-79.
- Zobel B. Wood quality from fast-grown plantation. *Journal of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry* 1981; 64(1): p. 71-74.