



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Conversão da Biomassa em Carvão Vegetal Situação Atual com Tendências 2025

Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico

Nota Técnica

Ronaldo Santos Sampaio

Belo Horizonte, MG
Junho, 2008

Resumo

O autor fala sobre o processo de carbonização e ressalta a necessidade de se utilizar o sistema peso seco de madeira e carvão vegetal produzido para o dia a dia desta atividade. A quantidade e qualidade do carvão vegetal dependem de fatores tais como a madeira e suas características químicas e físicas, assim como sua umidade, dentre outros. Tecnologias simples para esse processo ainda prevalecem no Brasil, mas outras já estão sendo aprimoradas e novas implantadas. Ressalta ainda a necessidade dos fornos estarem localizados próximos a fonte de biomassa para a redução de custos, buscando-se a utilização de processos de maior eficiência global para a conversão de madeira em carvão e seus co-produtos.

Palavras chave: biomassa, carbonização, carvão vegetal, energia, madeira, siderurgia.

SUMÁRIO

1. A produção do carvão vegetal	4
2. As tecnologias de carbonização implantadas no Brasil	6
3. Situação do setor	10
4. Conclusão	10
5. Referências	13

1. A PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

A carbonização é o ponto de conexão entre a floresta e o alto-forno. Aqui se encontra o ponto nevrálgico do setor e onde a visibilidade é maior, resultado da baixa densidade energética espacial e volumétrica da biomassa. A função da carbonização é concentrar energia no volume disponível, a madeira. A madeira é aquecida com gases provenientes de sua própria combustão parcial para atender as necessidades de remoção parcial dos materiais voláteis, ricos em água, oxigênio e compostos orgânicos leves e oleosos. O produto resultante é o carvão vegetal, os voláteis condensáveis e os gases, conforme ilustra a **Figura 1**.

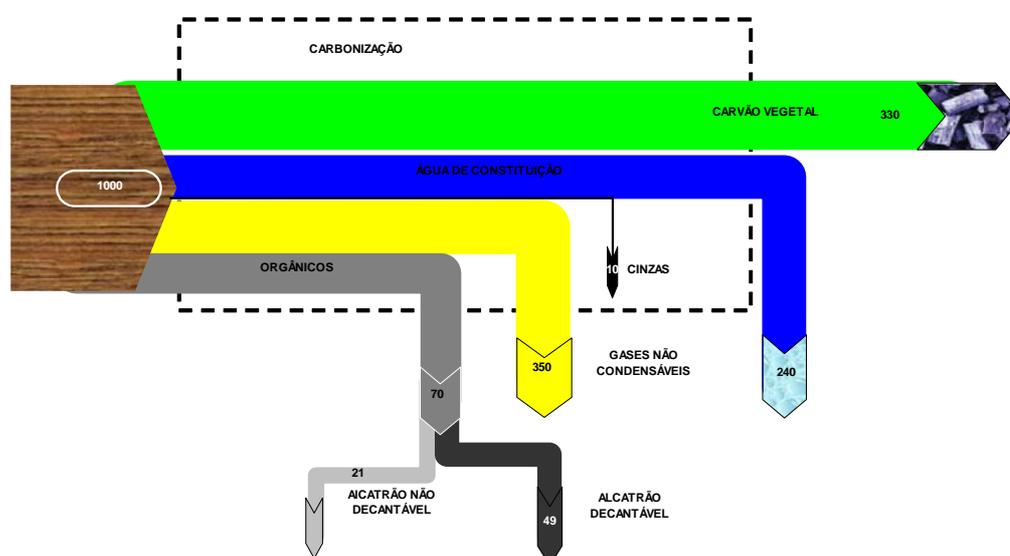


Figura 1 – Exemplo ilustrativo de distribuição mássica dos produtos da destilação da madeira seca para um rendimento gravimétrico de 33%. A carbonização entra com ar para queima parcial de voláteis e madeira, viabilizando a energia necessária ao processo.

O carvão vegetal praticamente dobra o conteúdo de energia em termos mássicos da madeira seca (900 kJ/kg), produzindo carvão vegetal com 75% de carbono fixo, carbonizando a temperaturas máximas de 400 °C e poder calorífico inferior de 1690 kJ/kg. Neste estágio, procura-se manter ainda a massa com poder calorífico, os voláteis, para mais tarde serem liberados no processo de redução no alto-forno. A carbonização pode virar coqueificação se o objetivo é zerar os voláteis. O processo de coqueificação é a carbonizando a temperaturas da ordem de 1000 °C, praticamente eliminando os voláteis e produzindo carvão vegetal

coqueificado com carbono fixo da ordem de 95% e 2000 kJ/kg. Devido a perda em rendimento gravimétrico ser bem superior ao ganho em poder calorífico do produto resultante, é que há apenas a operação de carbonização .

A **Figura 1** ilustra que, em termos mássicos, apenas um terço da madeira é aproveitada na forma de carvão vegetal. No passado, em face do primeiro e segundo choques do petróleo, as grandes siderúrgicas integradas com o carvão vegetal recuperavam parte do alcatrão e do licor pirolenhoso. O alcatrão era enviado para as siderúrgicas para ser utilizado em substituição do óleo combustível, muito especialmente no pré-aquecimento de placas de gusa e aço e também em fornos de aquecimento de lingotes.

Com o retorno do óleo combustível barato e do aparecimento do gás natural, esta opção foi abandonada e apenas a V&M do Brasil manteve a recuperação do alcatrão. A V&M do Brasil tem custos elevados de captação do alcatrão dos fumos da carbonização em seus fornos retangulares e, mesmo assim, realiza esta atividade em face da redução dos impactos ambientais que a remoção dos condensáveis dos fumos da carbonização provocam ao meio ambiente. Recentemente a V&M do Brasil passou a utilizar o alcatrão bruto em sua térmica no Barreiro, além de vender uma parcela menor para a BIOCARBO, empresa de base tecnológica que desenvolve destilados especiais para a indústria de alimentos, agrícolas e ligantes. Com a recente supervalorização do petróleo, forças empreendedoras já se direcionam para processos que possam captar este bio-óleo para uso industrial.

O índice técnico mais importante no processo de carbonização é o Rendimento Gravimétrico (equações **E1** e **E2**). Aqui, novamente, acontece o mesmo problema da utilização das relações volumétricas para aferir o rendimento madeira carvão. Este erro conceitual e de grande impacto negativo em todo o sistema continua em vigor para a grande maioria das empresas.

$$\text{Rendimento_Gravimétrico} = \frac{\text{Peso_Carvão_Vegetal_seco_}(t_CV_seco) * 100}{\text{Peso_de_madeira_seca_}(t_ms)}, \% \text{ (E1)}$$

$$\text{Rendimento_Volumétrico} = \frac{\text{Volume_Lenha_}(estéreo)}{\text{Volume_Carvão_Vegetal_}(m^3)}, \text{ st/mdc (E2)}$$

Não há correlação estatística entre os dois rendimentos mostrados pelas equações **E1** e **E2**. O método gravimétrico é o correto para a produção de carvão vegetal. No entanto, tudo se passa como existindo “excelente” correlação entre o volumétrico e o gravimétrico (não utilizado) pelos agentes envolvidos no setor, muito especialmente no pagamento dos serviços e na compra do carvão vegetal. Assim, as conversões de um rendimento para o outro pode ser qualquer valor que o interessado desejar. A incerteza na conversão de um rendimento para o outro é superior a 50%.

Em relação à qualidade da madeira, características químicas, físicas e mecânicas podem promover grandes diferenças na quantidade e qualidade do carvão vegetal produzido. Por exemplo, sabe-se que o conteúdo de lignina na madeira influencia significativamente o rendimento gravimétrico da carbonização, ou seja, as massas geradas de carvão vegetal, líquido pirolenhoso e alcatrão.

Já em relação ao processo de carbonização, fatores tais como: a umidade da madeira, o diâmetro desta (relação de tamanhos), a distribuição dos gases dentro dos reatores de carbonização, a temperatura final de carbonização, a taxa de aquecimento dos fornos de carbonização e a pressão de trabalho, dentre outros, exercem grande influência sobre a quantidade e qualidade dos produtos da carbonização (Pinheiro, P.C. da, et alii – A Produção de Carvão Vegetal: Teoria e Prática – B. Horizonte, 1ª. Edição, 2006, 120p.).

A importância da umidade inicial da madeira na carbonização é tão expressiva que cada 1% de umidade chega a reduzir o rendimento gravimétrico em até 0,37%. Esta é a razão pela qual a prioridade tem sido dada ao uso do conteúdo energético dos fumos para a secagem da madeira ao invés de sua recuperação para captação de alcatrão e outros insumos. Portanto, é necessário o desenvolvimento de processos de secagem de biomassa (lenhas) da forma mais simples e eficaz possível e com a “gratuita” energia solar, para se poder melhor utilizar toda a biomassa produzida para fins econômicos pela indústria.

2. AS TECNOLOGIAS DE CARBONIZAÇÃO IMPLANTADAS NO BRASIL

A baixa densidade em energia contida na biomassa e sua distribuição espacial também “rala” são os principais motivos pelo predomínio dos bem conhecidos fornos de carbonização, diminutos e de tijolos comuns, denominados “Rabo-Quente” e outros de melhor geometria, mas também tão pequenos, simples e baratos. Esses fornos, quando bem gerenciados e operados dentro do sistema de peso seco de madeira e carvão com auxílio de medições de temperatura, são tão eficientes quanto os grandes fornos retangulares parcialmente mecanizados.

Essa atividade ainda permanecerá, pois representa mais de 70% de todo o carvão produzido hoje no Brasil. Ela pode sim, melhorar bastante com o melhor preparo e treinamento da MDO e utilização de métodos desenvolvidos e introduzidos em empresas como a Energia Verde do grupo Queiroz Galvão e Plantar. No entanto, esses processos não são viáveis para o aproveitamento dos voláteis da madeira e exigem ainda a força física do homem para o enchimento e descarga dos fornos de carbonização. Para eliminar a necessidade do esforço humano no enchimento dos fornos com lenhas e a remoção do carvão vegetal produzido, é necessário o desenvolvimento de míni e micro máquinas para estas finalidades, inclusive para o transporte de lenhas de regiões montanhosas para as unidades de carbonização. Para escapar desta necessidade de desenvolver micro mecanização e ganhar em escala, as grandes empresas passaram a utilizar os grandes fornos retangulares.

Por ter sido o primeiro produto industrial feito pelo homem, era de se esperar que as tecnologias de carbonização fossem as mais avançadas. No entanto, sua substituição pelo carvão mineral e o coque, logo no início da era industrial, estacionou os desenvolvimentos até aquele momento e muito pouco aconteceu a partir do início do século XX.

Atualmente, portanto, convivemos com a total prevalência de fornos de tijolos originados a mais de 100 anos e com alguma coisa inovadora. Logo, tem-se os reatores:

- Fornos tipo Meda, seguidos do “Rabo Quente” e outros mais primitivos, hoje sendo abolidos em favor dos fornos cerâmicos cilíndricos (Cetec - dec. 70);
- Fornos cerâmicos tipo colméia (hoje re-engenheirados como coquerias “Non Recovery”);
- Fornos tipo Missouri, conhecidos como fornos retangulares (início do século XX no EUA) e transplantados para os fornos retangulares no Brasil, visando ganhos em mecanização e aumento da escala por reator. Este foi adotado pelas grandes empresas integradas e tem sido motivo de melhorias e desenvolvimentos. No entanto, pecam por não estarem, a menos a V&M do Brasil, captando os condensáveis da carbonização para uso como insumo energético e outros fins.
- Fornos cilíndricos metálicos da segunda metade do século XIX na Europa, reiniciando seu uso no Brasil, sem a recuperação dos condensáveis como acontecia na França em 1860, como “novas” tecnologias de fornos cilíndricos metálicos;

Novas tecnologias de carbonização: Entre os reatores de carbonização inovadores recentes, encontra-se sozinho o processo DPC (Dry-Pyrolysis-Carbonization), ainda em fase de comprovação na escala industrial. O processo de carbonização contínua é mais avançado em termos de maior eficiência no fechamento do balanço de massas, energia e melhor homogeneidade do carvão vegetal produzido e construído para experimentação no Brasil e futuro uso intensivo. É tecnologia francesa adquirida pela V&M do Brasil e com denominação processo CARBOVAL e se encontra operando em fase de *stat-up* em Paraopeba, MG.

Atualmente, em face do elevado aquecimento do setor e dos esforços de algumas empresas líderes no setor como V&M do Brasil, ArcelorMittal e outras siderúrgicas independentes, várias tecnologias estão sendo aprimoradas e antigas reengenheiradas, como é o caso dos fornos metálicos cilíndricos.

É necessidade relevante e urgente o uso rigoroso do método gravimétrico para a avaliação de todas estas tecnologias, inclusive a distribuição das massas e energia de cada processo.

Créditos de CO₂: O Protocolo de Quioto, denominado “o protocolo de incentivo à eficiência no uso da energia fóssil” não deu direitos a ganhos de eficiência aos processos que utilizam energia renovável, a não ser pelo seu uso em substituição a uma fóssil. Para dificultar ainda mais a possibilidade de uma renovável de biomassa ser competitiva, não bastasse às desvantagens naturais da baixa densidade, no caso dos processos de carbonização, foram medir emissões de metano nas pequenas unidades e carbonização, criando penalidades para as mesmas em termos de índices de emissão de CH₄. Esta emissão criou a possibilidade de se poderem criar créditos de redução de emissões com a combustão completa ou redução específica nas emissões de CH₄.

A **Figura 2** ilustra as principais operações unitárias para se produzir o carvão vegetal. O exemplo utiliza os fornos de alvenaria e a figura mostra eses em formas retangulares. **a)** Plantio florestal; **b)** Colheita; **c)** Preparo da lenha para secagem e posterior envio para unidades de carbonização; **d)** transporte da lenha para a unidade de carbonização; **e)** Alimentação dos fornos de carbonização, carbonização e retirada do carvão produto e co-produtos para envio aos clientes; **f)** estocagem e transporte do carvão para a siderúrgica; **g)** Recebimento e beneficiamento **h)** classificação do carvão para uso como granulado ou finos; **i)** utilização do granulado e do fino de carvão vegetal no alto-forno. Ainda nesta figura, assumimos a floresta como algo que já existe. No entanto, várias outras etapas se antecedem à floresta pronta e precisam ser objeto específico para este fim.

Apenas como ilustração e com base em dados médios do setor em MG, a **Figura 2** apresenta a influência relativa dos custos das operações unitárias envolvidas no custo do carvão vegetal de produção integrada entregue na siderúrgica.

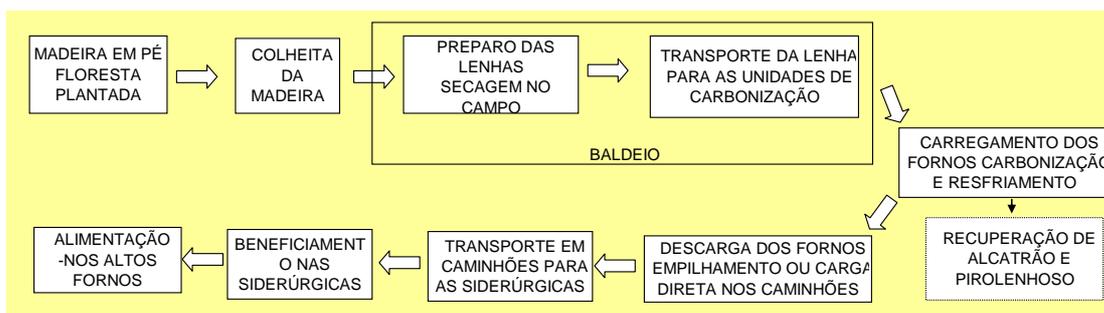


Figura 2 – Exemplo simplificado das operações típicas da produção integrada de carvão vegetal.

Na **Figura 3** verifica-se a forte influência, nos custos operacionais totais, das etapas ligadas à logística, ou seja, após a colheita com as operações necessárias à transferência da madeira para dentro dos fornos de carbonização e depois os custos para levar o carvão vegetal para as siderúrgicas.

Portanto, o foco em identificação de soluções para redução dos custos destas etapas ou até mesmo sua parcial ou completa eliminação com tecnologias inovadoras é uma proposta de assuntos tecnológicos relevantes para este setor.

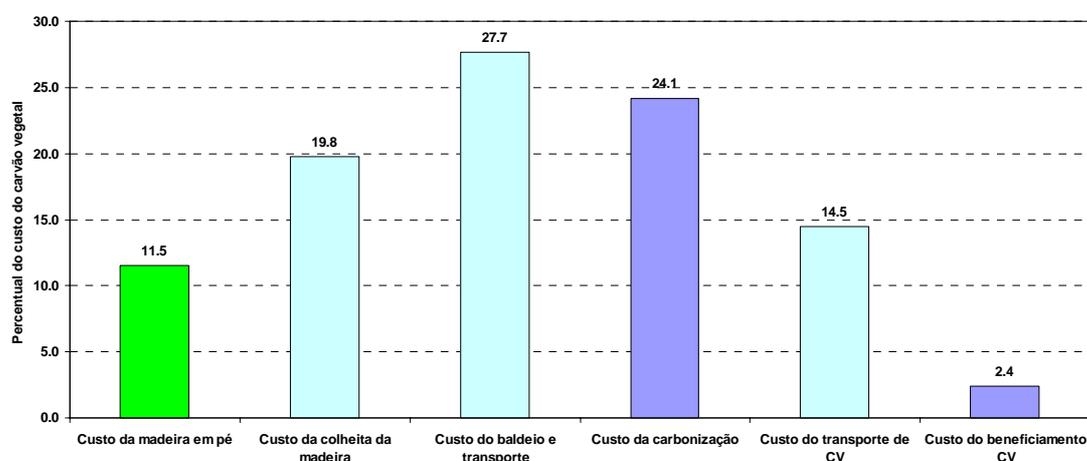


Figura 3 – Exemplo ilustrativo dos custos relativos de produção integrada de carvão vegetal a partir de floresta própria (mina de carbono renovável).

As operações logísticas são responsáveis por mais de 60 % dos custos operacionais. O valor da madeira considerado foi aquele da exaustão. No entanto, tanto para o público quanto para a academia, o foco de incentivo ao desenvolvimento tem sido nas tecnologias de carbonização e no plantio de florestas. Nada de errado, desde que as tecnologias de carbonização passem a reduzir e até mesmo eliminar parte desta cara logística utilizada.

3. SITUAÇÃO DO SETOR

A permanência dos processos centenários de carbonização é conseqüência da baixa densidade energética da madeira/biomassa. Esta não é apenas intrínseca, mas também geográfica e espacial e os fornos de tijolos comuns são acessíveis a todos (pequenos, médios e grandes produtores) e as pequenas unidades destes

fornos podem estar no local da fonte de biomassa, reduzindo o impacto dos elevados custos logísticos. O melhor resultado imediato para esta situação é muito treinamento (formação adequada de mão-de-obra) com uso do peso seco da biomassa e carvão produzidos para avaliar rendimentos e eficiências (peso seco de madeira e carvão produzido) e os métodos de controle operacional por intervalo de temperaturas e procedimentos de carga e descarga dos fornos.

As grandes empresas podem e devem fazer uso de processos maiores e de maior eficiência global de conversão de madeira em carvão e seus co-produtos alcatrão vegetal (óleo destilado de madeira) e licor pirolenhoso (vinagre de madeira). Assim o processo de carbonização contínua, processos inovadores como o DPC e também o melhor domínio e recuperação dos co-produtos (alcatrão e pirolenhoso) nos fornos retangulares precisam ser inseridos em maior intensidade dentro destas empresas, resultando em melhor qualidade de carvão e redução dos custos operacionais.

4. CONCLUSÃO

Assuntos e metas relevantes para produção de carvão vegetal para siderurgia:

- a) Viabilizar a adoção do sistema internacional de unidades com o uso do peso seco de madeira e de carvão vegetal produzido dentro de critérios referência de qualidade;
- b) Fazer treinamento contínuo nos procedimentos para controle e operação dos fornos de carbonização por equipes aprovadas por especialistas reconhecidos dentro dos métodos implantados na Energia Verde do grupo Queirós Galvão e Plantar Energética;
- c) Implantar a escola tipo “SENAI da carbonização” em veículos móveis e que atinjam todos os rincões do País. Estas escolas atenderiam a formação de técnicos do campo preparados para cuidar das ferramentas mecânicas, elétricas, eletrônicas, de controle ambiental, analíticas da madeira e dos produtos carvão, alcatrão e licor pirolenhoso, etc. O universalizar os conhecimentos adquiridos na prática é necessidade suprida por uma escola como esta;
- d) Otimizar a logística de transporte da madeira para as unidades de carbonização e do carvão e seus co-produtos para o mercado;
- e) Identificar, avaliar e prestigiar o uso de tecnologias e processos de carbonização que viabilizem a distância mínima entre o ponto de geração da biomassa e o ponto de sua conversão a carvão e co-produtos;
- f) Focar na identificação e/ou desenvolvimento de tecnologias de carbonização que maximizem a eficiência da conversão da madeira em carvão siderúrgico e simultaneamente recuperem os co-produtos voláteis do processo de forma sustentada e os convertam em eletricidade por co-geração;
- g) Desenvolver sistemas mecanizados para o pequeno produtor, a exemplo da agricultura do Japão, que desenvolveu toda uma linha dentro do conceito de mini-mecanização, para atender seus pequenos agricultores;
- h) Desenvolver e incentivar o uso de tecnologias, equipamentos e processos que reduzam os elevados custos logísticos para se colher as lenhas, preparar as

mesmas para a secagem natural e seu posterior transporte para as unidades de carbonização;

- i) Difundir e treinar técnicas de construção e manutenção de vias de acesso entre os pontos de produção de biomassa (florestas) e os locais de carbonização, minimizando impactos ambientais e custos de manuseio e transporte.
- j) Desenvolver mais conhecimentos científicos sobre a biomassa para energia e seus produtos carvão vegetal, alcatrões e licor pirolenhoso, sempre com experimentação e não apenas modelamentos, muito comuns na academia brasileira;
- k) Identificar e adaptar processos de secagem natural e forçada de biomassa, madeira em especial, ainda no campo, para reduzir significativamente a perda de rendimento gravimétrico na carbonização e custos de transporte. Métodos de secagem com uso de gases de exaustão de processos de carbonização precisam, antes, recuperar os condensáveis com valor energético e químico dos óleos e licores captados;
- l) Desenvolver métodos rápidos para a determinação da umidade da biomassa ainda no campo, inclusive sistemas de marcação para acompanhamento da taxa de secagem natural ou forçada;
- m) Transformar a atual cultura de unidades de carbonização em piso de terra para a de produção de energia e outros insumos, originados da conversão da madeira em carvão em unidades pavimentadas e limpas, evitando a contaminação do insumo madeira e dos produtos carvão e condensáveis da madeira. Desenvolver sistemas simples de proteção contra chuvas, umidade do solo e do ar para as unidades de carbonização é uma necessidade com expressivos resultados positivos na qualidade do carvão e do processo de carbonização;
- n) Para as grandes unidades de produção, estudar meios de viabilizar a co-geração com os voláteis da carbonização e utilizar os fumos quentes para secagem da madeira;

- o) Completa e racional reengenharia dos grandes fornos retangulares para poderem melhor controlar o processo e conseguir homogeneidade do carvão dentro de rendimentos gravimétricos da ordem de 36 % ou mais. Assim, faz-se necessário: a) estudos experimentais da fluidodinâmica dos materiais de construção dos fornos; b) desenvolver ferramentas para mecanização do enchimento destes fornos; c) dominar o uso dos ventiladores para movimentação dos fumos durante o processo de secagem, de carbonização e de resfriamento; d) desenvolver a recuperação eficiente dos condensáveis da carbonização; e) estudar e desenvolver sistemas similares ao método *Roll-On*, com as lenhas sendo alimentadas por caçambas vindas diretamente do campo e que entram com madeira e saem com carvão vegetal.
- p) O carvão vegetal não é equivalente ao coque. Por ter sido apenas carbonizado e não coqueificado, como o carvão mineral o é para virar coque, continua ser um produto desconhecido. É erro considerar o carvão vegetal como sendo similar ao coque. Esse paralelo está ainda presente na academia e na cultura do setor, só será dissipado com a melhor compreensão, por estudos e medições, do que é o carvão vegetal e quais são as formas mais eficazes de sua utilização nos altos-fornos.
- q) Os esforços de redução global de emissões de CO₂ precisam considerar a biomassa sustentável com direito natural a ganhos de melhorias adicionais de eficiência e também de incentivos a substituição às fósseis.

Para um bom entendimento dos parâmetros relevantes no ciclo de produção de carvão vegetal a partir de biomassa, em especial madeira, é necessário ter uma ordem de grandeza do potencial e das oportunidades de realização de ganhos de eficiência e rendimentos entre floresta plantada para energia e carvão vegetal entregue na siderúrgica.

5. REFERÊNCIAS

- (1) PINHEIRO, Paulo Cesar da Costa et alii. A Produção de Carvão Vegetal: Teoria e Prática. Belo Horizonte: edição do autor, 2a Edição Revista e Ampliada, 2008, 120p.
- (2) CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Manual de Construção e Operação de Fornos de Carbonização. Série Publicações Técnicas 007, Belo Horizonte, 1982, 55p.
- (3) PINHEIRO, Paulo César da Costa; SAMPAIO, Ronaldo Santos; BASTOS FILHO, José Gonçalves. Fornos de Carbonização Utilizados no Brasil. In: 1st International Congress on Biomass for Metal Production and Electricity Generation, 8-11 Outubro 2001, Belo Horizonte, MG, *Proceedings...* Belo Horizonte; ISS Brazil, Iron & Steell Society, 2001, CD-ROM.
- (4) FAO. Industrial Charcoal Making. Roma, 1985, FAO Forestry Paper 63.
- (5) GRANDIN, Friedrich-Hans. A Política de Reflorestamento Determina o Futuro do Carvão Vegetal , Metalurgia e Materiais ABM, 1993.
- (6) MASSENGALE, Robert. Black Gold: A History of Charcoal in Missouri. Authorhouse, 2006, 272p.
- (7) BRICARBRAS. Inovação Tecnológica para Produção Limpa de Carvão Vegetal: Briquetagem e Carbonização do Brasil Ltda. Biomassa e Energia, v.3, n.1, p.73-82, Jan-Mar 2006.
- (8) LÚCIO, Álvaro; SANTOS Neto, Antonio Delfino. The DPC Process to Turn Biomass Into Charcoal. IN: 1st INTERNATIONAL CONGRESS ON BIOMASS FOR METAL PRODUCTION & ELECTRICITY GENERATION, 08-11 Outubro 2001, Belo Horizonte, MG, *Proceedings...* Belo Horizonte, ISS Iron & Steel Society (Brazilian Section), UFMG, 2001, (CD-ROM).
- (9) RSConsultants. Medições do Rendimento Gravimétrico em Forno de Carbonização DPC – Cia Mineira de Metais. 07 Dezembro 2004, 57p.
- (10) REZENDE, Maria Emília Antunes; et ali. Continuous Charcoal Production - A Brazilian Experience. In: BRIDWATER, A. V. & BOOCOOCK, D. G. B.

Eds. Developments in Thermochemical Biomass Conversion. London, Blackie Academic & Professional, 1997, v.2, p.1289-1298.