

## **Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável**

Sueli de Fátima de Oliveira Colombo (PPGEP-UTFPR) [suelifom@hotmail.com](mailto:suelifom@hotmail.com)  
Dr. Alexandre Santos Pimenta (BRICARBRAS) [alexandrepimenta@bricarbras.com.br](mailto:alexandrepimenta@bricarbras.com.br)  
Dr. Kazuo Hatakeyama (PPGEP-UTFPR) [hatakeyama@pg.cefetpr.br](mailto:hatakeyama@pg.cefetpr.br)

**Resumo:** *O sistema de produção de carvão vegetal ainda é o mesmo de um século atrás. A pressão pela produção ecologicamente correta e auto-sustentável tem dirigido a busca por tecnologias que atendam estes desígnios e sejam economicamente viáveis. Este artigo se propõe a comparar dois sistemas produtivos de carvão vegetal – de um lado o sistema de carbonização tradicional e de outro o sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais, quanto aos aspectos técnicos e econômicos, a partir do estudo de caso de duas empresas situadas na região paranaense dos Campos Gerais onde foram analisadas instalações e processos. Verifica-se que a utilização de fornos cilíndricos verticais, em contraposição ao sistema tradicional, permite utilização completa dos produtos úteis derivados do processo de carbonização. Aproveita-se desta forma, além do carvão, os gases, os vapores não condensáveis e os condensáveis da destilação, resultando no que se chama de “destilação seca”, processo mais eficiente do ponto de vista ambiental, o que representará um incentivo à profissionalização e racionalização do setor.*

**Palavras chave:** *Carvão Vegetal; Sistemas de Carbonização; Produção Ecologicamente Correta.*

### **1. Introdução**

A descoberta do carvão vegetal e seu uso como combustível é atribuída ao homem primitivo, que ao utilizar a madeira queimada de aspecto preto e friável nas cavernas, percebeu que esta não produzia chama nem fumaça e gerava calor de forma mais intensa que aquele produzido pela queima direta da madeira. Iniciava-se assim a produção do carvão vegetal.

A produção do carvão vegetal no Brasil responde por cerca de 30% da produção mundial, em sua quase totalidade para uso siderúrgico. Mas ainda o produz, em sua grande maioria, como há um século atrás, sem as preocupações básicas com o meio-ambiente.

Essas preocupações fazem parte das perspectivas do uso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto, que tem como propósitos aumentar a utilização de fontes renováveis, diminuir a emissão de gases que causam o efeito estufa da atmosfera e contribuir com o abrandamento deste efeito através do seqüestro de carbono, como forma de premiar a produção ecologicamente correta, renovaram o interesse pelo uso do carvão vegetal na siderurgia.

No período de 1994 a 2004, a participação relativa na produção total de ferro-gusa no Brasil mostra um decréscimo de 2% no consumo de carvão mineral e um acréscimo de 16% no consumo de carvão vegetal. Os números mostram ainda que dos 36,9 milhões de metros de carvão – MDC (unidade de medida para o carvão vegetal que equivale à quantidade de carvão que cabe em um metro cúbico) consumidos em 2004, a produção de ferro-gusa pelos produtores independentes e pelas usinas integradas foram responsáveis por 85,5% deste consumo (AMS, 2005).

A busca por tecnologias mais limpas e efetivas e o aproveitamento dos subprodutos (alcatrão e gases) oriundos do processo de carbonização, destacam a evolução dos fornos artesanais tradicionais para os fornos cilíndricos verticais que despontam como mais eficientes e eficazes.

A partir do estudo de caso de duas empresas paranaenses, uma situada no município de Ipiranga-PR, com sistema de carbonização tradicional utilizando fornos tipo “rabo quente” de superfície e outra situada no município de Jaguariaíva-PR, considerada planta piloto em escala industrial no Estado utilizando fornos cilíndricos verticais, este artigo se propõe a comparar dois sistemas de produção de carvão vegetal – de um lado o sistema de carbonização tradicional e de outro o sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais, quanto aos aspectos técnicos e econômicos.

## 2. Teoria da carbonização

O processo de produção do carvão vegetal consiste da degradação parcial da madeira e, para tanto, faz-se necessário aplicar calor suficientemente controlado para que isto ocorra. A origem deste calor pode ser classificada de duas formas:

- sistema de combustão parcial ou fonte interna de energia, onde 10% a 20% do peso da carga são sacrificados,
- sistema que utiliza fonte externa de energia a partir do uso de aquecimento elétrico, ou ainda, da queima de outros combustíveis introduzindo o calor na carga, cujo rendimento de processo é, portanto maior, visto que teoricamente não há sacrifício de parte da madeira por combustão total (BRITO, 1990).

Em qualquer dos dois sistemas a carbonização é a destilação da madeira que a transforma numa fração rica em carbono – o carvão vegetal, e noutra fração composta por vapores e gases (alcatrão, pirolenhos e gases não-condensáveis), de acordo com Sampaio e Mello (2001).

Essas frações podem ser identificadas como sendo os produtos oriundos da carbonização, conforme mostra a tabela 1.

TABELA 1 – Produtos da carbonização

FONTE: PIMENTA (2002)

Produtos da Carbonização	% Base Seca
Carvão (80% Carbono Fixo)	33,0
Ácido Pirolenhoso	35,5
(Ácido Acético)	(5,0)
(Metanol)	(2,0)
(Alcatrão Solúvel)	(5,0)
(Água e outros)	(23,5)
Alcatrão Insolúvel	6,5
Gases Não-Condensáveis (GNC)	25,0
Total	100,0

### 2.1 Aspectos técnicos do sistema tradicional de carbonização

No Brasil, o sistema predominante de produção de carvão vegetal é constituído de fornos de alvenaria e argila, comumente chamados de fornos meia-laranja ou rabo quente, dos tipos fornos de superfície quando o terreno é plano ou fornos de encosta quando em regiões de relevo acidentado e que podem carbonizar diferentes volumes de lenha variando normalmente na faixa de 6 a 20 estéreos (quantidade de lenha que pode ser empilhada ordenadamente em um metro cúbico) (BRITO, 1990).

Apesar de serem mais baratos e fáceis de construir apresentam baixos rendimentos gravimétricos – rendimento em função do peso de lenha enforado – em carvão vegetal com perdas em forma de fumaça poluente que podem chegar a 50% do carbono inicialmente contido na lenha enforada e 75% em peso dessa mesma lenha. Rendimentos gravimétricos em carvão vegetal na faixa de 25% obtidos nos fornos tradicionais representam uma perda econômica expressiva e subutilização da lenha carbonizada (PIMENTA, 2002).

A figura 1 mostra o sistema de enforamento e carbonização.



FIGURA 1 – Fornos tipo “rabo quente” de superfície.

Os fornos do tipo rabo quente realizam um ciclo a cada seis ou sete dias, podendo chegar a dez dias se a umidade da lenha for elevada, cujo período se divide em duas partes. Primeiro vem o acendimento do forno e o controle da entrada de ar, quando ocorre efetivamente a carbonização. Terminada a carbonização, que dura em média três dias, o forno é completamente vedado com argila e deixado em resfriamento até atingir temperaturas internas em torno de 40 °C a 50 °C, quando então é possível a descarga do forno sem risco de ignição do carvão ao entrar em contato com o ar (PIMENTA, 2002).

Nos fornos do sistema tradicional pesquisado, o ciclo de produção inicia-se após a construção do forno, onde são utilizados aproximadamente 3.000 tijolos assentados com cerca de três toneladas de uma massa preparada com água, cal e de terra argilosa encontrada em abundância naquela região e ainda uma cinta de aço com aproximadamente 12 metros de comprimento, quatro centímetros de largura e uma polegada de espessura envolvendo a parte externa do forno cuja função é dar sustentação às paredes.

A construção do forno geralmente é feita pelo na própria carvoaria e quando se faz necessária a contratação de mão-de-obra terceirizada é feita por empreitada. Cada forno, se bem construído e adequadamente operado, tem uma vida útil de dois anos, e se for bem mantido e reformado quando necessário pode estender a vida útil até 10 a 12 anos.

As etapas seguintes à construção do forno são:

- a) Aquisição da matéria-prima: na maioria das vezes a lenha é oriunda de reflorestamento próprio ou de terceiros, e em alguns casos de manejo legalizado, devidamente comprovado com documentação fiscal;
- b) Preparação da matéria-prima: esta etapa utiliza a mão-de-obra de duas pessoas para a produção nos doze fornos do sistema analisado e consiste no corte das toras que podem variar de tamanho entre 1,00 e 1,40 m de comprimento, conforme a disposição da carga dentro do forno e principalmente baseado na experiência do responsável pelo enforamento, também denominado de forneiro ou queimador;
- c) Enforamento: cada forno tem capacidade para 16 estéreos de lenha para produção de cerca de 8 a 10 m<sup>3</sup> de carvão vegetal, em função da variação de umidade, da qualidade da madeira e do manejo na montagem da carga num ciclo de até 10 dias;

d) Carbonização ou carvoejamento: durante o processo de acendimento do forno todos os orifícios permanecem abertos por cerca de duas horas, quando apenas a chaminé é lacrada permanecendo abertas as “baianas” - orifícios abertos na cúpula do forno para controle de entrada de ar e saída de fumaça, por cerca de 5-6 horas. Os suspiros - canais construídos nas laterais do forno com a mesma função das “baianas”, permanecem abertos por cerca de 40-80 horas, dependendo da umidade da lenha ou até que uma fumaça azulada se manifeste, quando então tudo é lacrado, iniciando-se, assim, o processo de esfriamento do forno, que pode durar até quatro dias, sendo que esta etapa se conclui a partir da percepção de uma temperatura suportável ao ser humano;

e) Desenfornamento, ensacamento e despacho: a porta, as “baianas” e a chaminé são abertos, permitindo a entrada de luz tornando possível o trabalho dos forneiros no processo de desenfornamento e ensacamento do carvão vegetal. Após o ensacamento faz-se a costura das bordas da embalagem. A montagem da carga no caminhão é feita de forma a acomodar a maior quantidade de sacaria maximizando assim o peso transportado, sem prejuízo da segurança no transporte, cuja altura máxima deve ser de 4,40 m do chão, permitida pela legislação.

Nas etapas que vão do enfornamento ao ensacamento são utilizadas mão-de-obra de quatro pessoas, ficando o despacho ou carregamento do caminhão por conta dos preparadores da matéria-prima.

## 2.2 Aspectos técnicos do sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais

O sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais é composto das seguintes partes: base e câmara isolante, cilindros metálicos verticais, sistema de movimentação e descarga, sistema de exaustão de gases, fornalha para queima da fumaça e estufa para secagem da madeira. A figura 2 mostra o sistema de movimentação e descarga, base, câmara isolante e cilindro vertical.



FIGURA 2 – Sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais

A operação do forno consiste em se encapsular um cilindro metálico cheio de madeira dentro da câmara isolante e iniciar o processo de carbonização de forma parecida com o forno de superfície com câmara de combustão externa.

Podem ser executadas carbonizações em 8 a 10 horas e enquanto a carbonização acontece, o forno está encapsulado dentro da câmara isolante. Ao terminar a carbonização, o cilindro metálico é retirado, podendo ocorrer livre troca de calor com o ambiente, através da parede do cilindro metálico, de forma que o carvão rapidamente se resfria. A correta circulação e

exaustão dos gases estão garantidas por um ventilador que suga a fumaça do leito de carbonização e a conduz para um sistema de “requeima” dos gases. O calor gerado é conduzido por um sistema de exaustão até a estufa de secagem da lenha.

O uso do sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais, com o processo prévio de secagem de lenhas até teores de umidade na faixa de 4% a 6% garante rendimentos gravimétricos em carvão vegetal na faixa de 35% - 40%, em contraposição aos 25% - 30% normalmente obtidos no processo tradicional.

A requeima dos gases gera um adicional de calor suficiente para a secagem da lenha e reduzem substancialmente os fumos e a poluição atmosférica pela queima completa dos pirolenhos, alcatrão não solúvel e a parte combustível dos gases não condensáveis, diminuindo a necessidade de madeira em 25% a 30% para obtenção da mesma quantidade de carvão.

O sistema de carbonização em fornos cilíndricos está apto a transformar em carvão vegetal qualquer tipo de material lenhoso com diâmetro superior a 6 cm e comprimento superior a 20 cm tendo a flexibilidade de carbonizar galhos, resíduos de colheita florestal, tocos, lenha em toras, resíduos de desdobro mecânico de serrarias, restos de poda, entre outros, reduzindo ainda mais a necessidade de abate de árvores.

### **3. Metodologia**

Para o desenvolvimento do presente artigo aplicou-se uma pesquisa qualitativa descritiva da realidade com nuances de quantitativa quando mensura valores econômicos e financeiros.

A opção pela utilização de estudos de caso neste trabalho é embasada pela colocação feita por Yin (2001) de que os estudos de caso, em geral, representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.

Os dados foram coletados através de entrevistas com funcionários das empresas diretamente envolvidos com o processo de produção, das observações e de documentos analisados.

### **4. Aspectos econômicos do sistema de carbonização tradicional em comparação com o sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais**

Os dados que serviram de base para análise de custo dos dois sistemas estão descritos nos quadros 1 e 2 de acordo com as seguintes premissas:

- a) não foram considerados custos com embalagem, nem com logística de distribuição;
- b) preço da lenha de eucalipto, posto pátio, praticado na região paranaense dos campos gerais;
- c) preço de venda sem ICMS praticado na região da Grande Belo Horizonte-MG, no período janeiro-abril de 2006, posto carvoaria (INDI, 2006);
- d) Mão-de-obra: no sistema de fornos tipo “rabo quente” – salário-base nacional, encargos e equipamentos de segurança e no sistema com fornos metálicos verticais – piso salarial estipulado pelo sindicato da categoria, incluindo encargos e benefícios tais como convênio médico, vale-transporte, refeição, seguro, material de segurança, cesta básica;
- e) Gastos com manutenção: no sistema de fornos tipo “rabo quente” – média histórica da empresa e no sistema com fornos metálicos verticais: indicador estimado em 5% sobre faturamento bruto;

f) Gasto com energia elétrica no sistema com fornos metálicos verticais: consumo específico histórico da empresa;

#### 4.1 – Sistema de carbonização tradicional

O objeto deste estudo foi o processo de produção do carvão vegetal a partir do forno tipo “rabo quente” de superfície, com sistema de aquecimento por fonte interna de calor, numa carvoaria (unidade ou local onde se concentram os fornos e as atividades desde o recebimento da madeira ao ensacamento e despacho do carvão) composta por 12 fornos e com histórico produtivo entre 250 e 300 MDC por mês.

Os dados que serviram de base para análise de custo deste sistema foram os coletados na empresa e proporcionalmente adaptados elevando a quantidade de fornos até 20, para que as capacidades de geração de carvão em MDC fossem equivalentes ao do sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais a que foi comparado e estão descritos no quadro 2:

QUADRO 1 - Dados-base para análise do sistema de carbonização tradicional.

<b>Sistema Fornos Tipo "Rabo Quente"</b>	
<b>Investimento Inicial</b>	
Montante em R\$ para 20 fornos	30.600,00
<b>Dados Técnicos/Operacionais</b>	
Quantidade de fornos no sistema	20
Quantidade de cilindros por forno	na
Diâmetro do cilindro em metros	na
Altura do cilindro em metros	na
Capacidade do forno em estéreo de lenha	16
Tempo de carbonização em horas	240
Produção diária - carbonizações por forno	0,1
Razão de conversão - estéreo de lenha de eucalipto/MDC	2,0
Fator estimado de aproveitamento do potencial do sistema	0,9
Dias produtivos no mês	30
Número de empregados	7
Regime de produção em horas/dia (1 turno de 9 horas)	9
Horas trabalhadas/funcionário.mês	Mensalista
<b>Custos Operacionais</b>	
Mão-de-obra em R\$/mês por funcionário	600,00
Preço da lenha R\$/estéreo de eucalipto no pátio	40,00
Custo da energia elétrica em R\$/MDC	na
Custo estimado da manutenção mensal	1.000,00
<b>Preço de Venda</b>	
R\$/MDC	100,00

#### 4.2 – Sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais

O objeto deste estudo foi o processo de produção do carvão vegetal a partir do forno cilíndrico vertical para uma carvoaria composta por quatro fornos com capacidade produtiva de 432 MDC por mês.

Os dados que serviram de base para análise de custo deste sistema estão descritos no quadro 2 e foram considerados:

QUADRO 2 – Dados-base para análise do sistema de produção em fornos cilíndricos verticais.

<b>Sistema Fornos Cilíndricos Verticais - Unidade de Pequeno Porte</b>	
<b>Investimento Inicial</b>	
Montante em R\$ para um sistema com 4 fornos	150.000,00
<b>Dados Técnicos/Operacionais</b>	
Quantidade de fornos no sistema	4
Quantidade de cilindros por forno	3
Diâmetro do cilindro em metros	1,0
Altura do cilindro em metros	1,6
Capacidade do cilindro em estéreo de lenha	2
Tempo de carbonização em horas	8,0
Produção diária - carbonizações por forno	3
Razão de conversão - estéreo de lenha de eucalipto/MDC	1,5
Fator estimado de aproveitamento do potencial do sistema	0,9
Dias produtivos no mês	30
Número de empregados	5
Regime de produção em horas/dia (turnos contínuos 6x2)	24
Horas trabalhadas/funcionário.mês	180
<b>Custos Operacionais</b>	
Mão-de-obra em R\$/hora	4,36
Preço da lenha R\$/estéreo de eucalipto no pátio	40,00
Custo da energia elétrica em R\$/MDC	5,96
Custo estimado da manutenção (sobre faturamento bruto anual)	5%
<b>Preço de Venda</b>	
R\$/MDC	100,00

## 5. Resultados e discussão

Os custos envolvidos e resultados operacionais nos sistemas de produção tradicional e no sistema de produção em fornos cilíndricos verticais estão apresentados no quadro comparativo 3.

QUADRO 3 – Comparativo de custos

<b>Descrição</b>	<b>Sistema Fornos Cilíndricos Verticais - Unidade de Pequeno Porte</b>	<b>Sistema Fornos tipo "Rabo Quente"</b>
<b>Resultados Técnicos</b>		
Consumo de lenha em estéreo/dia	21,6	28,8
Consumo de lenha em estéreo/mês	648	864
Consumo de lenha em estéreo/ano	7.776	10.368
Capacidade produtiva do sistema em MDC/dia	14,4	14,4
Capacidade produtiva do sistema em MDC/mês	432	432
Capacidade produtiva do sistema em MDC/ano	5.184	5184
<b>Resultados Financeiros Anuais</b>		
Faturamento previsto em R\$	518.400,00	518.400,00
Custo Operacional Total	414.944,64	477.120,00
Custo da lenha	311.040,00	414.720,00
Custo da mão de obra	47.088,00	50.400,00
Custo da energia elétrica	30.896,64	0,00
Custo da manutenção	25.920,00	12.000,00
Custo Operacional Unitário ( R\$/MDC)	80,04	92,04
<b>Parâmetros de análise</b>		
Lucratividade Estimada	19,96%	7,96%
Pay-back Simples (anos)	1,45	0,74

Ambos os sistemas mostram, de maneira inequívoca, sua própria viabilidade técnica. As capacidades para o sistema “rabo quente” foram calculadas proporcionalmente ao levantado na empresa, de forma a tornar mais visual a comparação entre os dois sistemas em termos de capacidade produtiva e de faturamento.

Desta forma, a análise e conclusões derivadas do quadro 3 ficam visuais e de fácil interpretação.

Analisando o quadro, verifica-se que na comparação entre os sistemas, o sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais, em contraposição ao sistema de carbonização tradicional, apresenta substancial economia em matéria-prima (25%), redução do custo operacional (13%), aumento da lucratividade (151%) e o retorno do investimento medido pelo “pay-back” simples acontece em menos de 1 ½ anos.

## 6. Conclusões

A importância do carvão vegetal na cadeia produtiva é indiscutível, mas é discutível o modelo produtivo em uso.

De um lado, o sistema de produção tradicional do carvão vegetal, considerado arcaico do ponto de vista **(a)** social, onde os trabalhadores estão sujeitos, em muitos casos, ao trabalho sem registro em carteira, sem direito aos benefícios legais, além das condições insalubres; **(b)** do parco retorno econômico do modelo produtivo, devido às altas perdas conseqüentes da baixa eficiência do processo e **(c)** ambiental, mostrando uma preservação negligenciada.

Por outro lado, um modelo sustentável que pode equilibrar o desenvolvimento **(a)** social, através da valorização da mão-de-obra; **(b)** econômico, via aproveitamento otimizado da matéria-prima agregando valor financeiro ao processo e **(c)** ambiental, pois contribui para a preservação dos recursos naturais, através da melhor utilização de produtos e subprodutos das florestas plantadas e da eliminação da poluição gerada durante o processo produtivo, sinalizando uma importante direção de evolução para o setor.

Demonstradas as viabilidades técnica e econômica conclui-se que a implantação do sistema de carbonização em fornos cilíndricos verticais se mostra importante para o setor e conseqüentemente para a sociedade brasileira como um todo.

## Referências bibliográficas

- AMS – ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Anuário Estatístico AMS**. – Belo Horizonte: set, 2005
- BRASIL – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Diretrizes de política de agroenergia 2006-2011**. / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério de Minas e Energia e Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em <http://www.pdf4free.com>, acessado em 16.05.2006.
- BRITO, José Otávio. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. USP/ESALQ. – Documentos Florestais: Piracicaba (9): 1-19, maio 1990.
- INDI – INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE MINAS GERAIS. **Minas Gerais: custos de insumos industriais. – maio 2006**. Disponível no site [http://www.indi.mg.gov.br/perfil/cii\\_pdf/maio2006.pdf](http://www.indi.mg.gov.br/perfil/cii_pdf/maio2006.pdf) e acessado em 16 de agosto de 2006.
- PIMENTA, Alexandre Santos. **Curso de atualização em carvão vegetal**. Apostila, documento interno. – Viçosa: UFV/DEF, 2002.
- SAMPAIO, Ronaldo Santos. **Produção de metais com biomassa plantada**. / Marcelo Guimarães Mello (org.). Biomassa - Energia dos Trópicos em Minas Gerais. – Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001. pg.163-178
- YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos** / Robert K. Yin; tradução Daniel Grassi. – 2ª. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2001.