



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA EMPRESA
SAINT GOBAIN LTDA.

JULIANA BERNARDO AMODEI

ORIENTADORA

NATÁLIA DIAS DE SOUZA

Seropédica, RJ
Julho, 2008.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS

JULIANA BERNARDO AMODEI

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA EMPRESA
SAINT GOBAIN LTDA.**

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

Sob a orientação da Professora

NATÁLIA DIAS DE SOUZA

Seropédica, RJ
Julho, 2008.

JULIANA BERNARDO AMODEI

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO DA EMPRESA
SAINT GOBAIN LTDA.

Monografia aprovada em 18 de Julho de 2008.

BANCA EXAMINADORA:

PROF^a. MSc. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
ORIENTADORA
DPF/IF/UFRRJ

PROF. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO
Membro Titular
DPF/IF/UFRRJ

MSc. GILMARA P. M. PALERMO
Membro Titular
DPF/IF/UFRRJ

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais Angela e Aurelio (em meu coração), ao meu querido irmão Junior, ao meu namorado Charles e a todos os amigos que acreditaram no meu sucesso, em especial a grande amiga Fernanda Vilares Escaleira da Conceição, como apoio e força nessa delicada fase da sua vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por ser o criador de todas as coisas e por sempre estar ao meu lado em todos os momentos me guiando com sua luz divina.

Aos meus pais Aurelio Amodei (em meu coração) e Angela Maria Bernardo Amodei, por todo amor e carinho a mim dedicado, pela lição de vida ensinada com muita dedicação, me fazendo acreditar que tudo é possível, basta acreditar.

À minha orientadora Natalia Dias de Souza, pelos ensinamentos e dedicação, por aceitar e acreditar nesse trabalho.

Ao meu irmão Aurelio Amodei Junior, que sempre foi para mim um exemplo de sucesso e perseverança.

À minha família, em especial a minha Vovó Ina, que sempre esteve me apoiando e incentivando nessa caminhada, com muito amor e carinho.

Ao Charles Cesar dos Santos, que além de namorado, um grande amigo e companheiro que esteve sempre ao meu lado, compreendendo minhas ausências e me apoiando sempre nesta importante etapa de minha vida. Te amo!!!

Aos queridos amigos Nathalia Senna (Tata), Fernanda Vilares (Fepsy), Saulo Alves, Aline Nantet (Nipsy) e Clarissa Carvalho (Clapsy) por serem tão importantes, exemplos de amizade, carinho e amor, mesmo com as dificuldades da vida.

À amiga Monique de Moura Gurgel, pela confiança de compartilharmos juntas a experiência de estarmos longe de nossas famílias nesse último ano de faculdade. Além do carinho e apoio nos momentos de dificuldade, tendo sido um exemplo de amizade e companheirismo.

À amiga Vanessa Kunz, pelo apoio, companheirismo e por estar comigo caminhando juntas nessa fase importante de nossas vidas.

Ao amigo Thiago Ventura pelo exemplo de amizade, pelo incentivo e motivação nas horas difíceis, estando sempre disposto a ajudar e contribuindo muito com minha formação profissional e pessoal.

À amiga Renata Machado, pelos estudos em grupo, pelos almoços e por estar sempre presente me apoiando e ajudando em todos os momentos finais dessa importante etapa.

A todos os amigos de faculdade que contribuíram de alguma forma para este trabalho e conseqüentemente para minha formação profissional.

Ao Querido Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho, pelo exemplo de professor.

Ao funcionário Zé Carlos pela grande ajuda e contribuição na realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Carlos Magno, pela oportunidade e apoio para realização deste trabalho.

A todos os professores que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter dado condições para que eu me tornasse uma profissional qualificada.

RESUMO

Nos últimos anos tem crescido o estímulo para o uso de madeira como fonte de energia. Este aumento da demanda é resultado das diversas desvantagens proporcionadas pelo combustível fóssil, como a instabilidade dos preços, a agressão ao meio ambiente, por ser mais poluente, além do crescente interesse por parte da população na utilização de energias renováveis. A queima da madeira para uso energético é interessante, pois ela constitui um ciclo de energia fechado, sendo menos poluente que o petróleo. O carvão vegetal é um resíduo sólido, resultante da carbonização da madeira. A sua produção pode ser feita em diferentes tipos de fornos com rendimentos variados. A empresa Saint-Gobain Canalização LTDA faz parte do grupo SAINT-GOBAIN, 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 inicialmente faz uma fusão em altos fornos, utilizando carvão vegetal. Diante disso, neste trabalho foi levantado o processo de carbonização desta empresa na unidade de carvoejamento de Seropédica, RJ. Para a realização do trabalho foram levantados dados do processo de carbonização, este processo foi comparado com o de outras duas empresas e foi realizada a análise química imediata do carvão. Após o estudo, concluiu-se que a empresa, utilizando fornos do tipo superfície com chaminé, apresenta valores intermediários (investimento inicial, produção diária de carbonização por forno e total de custos operacionais), atendendo a demanda que a empresa necessita. O carvão vegetal da empresa também pode ser considerado de boa qualidade, por apresentar elevado teor de carbono fixo.

Palavras-chave: energias renováveis, carvão vegetal, madeira.

ABSTRACT

In the last years, there has been stimulation for the use of wood as an energy source. This demand increase is a result of various disadvantages of fossil fuel, such as price instability, environment aggression and for being more pollutant. Furthermore, the population is strongly interested in renewable energies. Burning wood for energy proposes is interesting because it is a closed energy cycle, less pollutant than oil. The charcoal is a solid residue, result of wood carbonization. Its production can be made in several types of ovens, which can be more or less efficient. The company Saint-Gobain Canalizações LTDA is part of the group SAINT-GOBAIN, and it manufactures hydraulic pipes, connections and accessories in ductil iron, valves and equipment, drain plugs, pipes and connections for land sewer. To produce the metal, the company makes a first fusing in high ovens, using charcoal. The main goal of this work was studying the carbonization process of this company in the Seropédica unit, RJ. To accomplish this work, this carbonization process has been studied and compared to the processes of two other companies, including the chemical analysis of the resulting coal. It was concluded that, using ovens of the type surface with chimney, the company presents intermediate values of initial investment, daily production of carbonization for the oven and total operational costs that meets the demand of the company. The charcoal of the company presents high quality, with a high content of fixed carbon.

Keywords: renewable energies, charcoal, wood.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 - Caracterização da Área de Estudo.....	3
2.2 - Levantamento dos Dados do Processo Carbonização da Empresa Saint Gobain	4
2.3 – Comparação entre os Sistemas de Carbonização	5
2.4 - Análise Química Imediata do Carvão	6
2.4.1 - Teor de umidade (TU).....	7
2.4.2 - Teor de materiais voláteis (TMV).....	7
2.4.3 – Teor de cinzas (TC)	9
2.4.4 – Teor de carbono fixo (TCF)	9
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 - Comparação entre os Sistemas de Carbonização	9
3.2 – Análise Química Imediata do Carvão.....	14
4 – CONCLUSÃO.....	15
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Município de Seropédica – RJ.....	3
Figura 2: Foto aérea da unidade de carvoejamento.....	4
Figura 3: Maceração da amostra de carvão vegetal.	6
Figura 4: Conjunto de peneiras sobrepostas.....	6
Figura 5: Balança eletrônica utilizada para pesagem da amostra.....	7
Figura 6: Mufla regulada a 950°C para determinação do teor de materiais voláteis.....	8
Figura 7: Dessecador utilizado para esfriamento das amostras.	8
Figura 8: Transporte da lenha	11
Figura 9: Transporte do carvão vegetal produzido na unidade de carvoejamento.....	11
Figura 10: Forno do tipo Superfície com Chaminé.....	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Questionário para obtenção dos dados.	5
Tabela 2: Resultados obtidos através do questionário.....	10
Tabela 3: Dados comparativos entre os diferentes tipos de fornos.	13
Tabela 4 - Valores médios dos teores de umidade (TU), de matérias voláteis (TMV), de cinza (TC) e de carbono fixo (TCF) do carvão vegetal analisado.	14

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 usada como principal combustível (ELIAS, 1961; ANDRADE & CARVALHO, 1998).

No século passado, na década de 1970, a madeira deixou de ser a principal fonte energética em nosso país, quando perdeu lugar para o petróleo e seus derivados. Sua participação no balanço energético do Brasil decresceu ao longo dos anos, principalmente devido ao maior incentivo ao petróleo para atender as novas demandas energéticas. Entretanto, nos últimos dez anos, verificou-se uma grande reversão nesse quadro, onde a madeira ganhou novamente seu espaço como fonte de energia. Tal fato é motivado por diversos fatores, dentre eles podemos citar as incertezas quanto à oferta (esgotável), as desvantagens econômicas (alto custo) e ambientais (mais poluentes) dos combustíveis fósseis (BRITO, 2007).

Diante desse fato, a utilização da madeira para fins energéticos torna-se cada vez mais importante quando comparamos com os combustíveis fósseis. Além de ser um recurso renovável, é também menos poluente, pois apresenta um ciclo fechado de dióxido de carbono, ou seja, todo o CO₂ que é liberado pela madeira para geração de energia, é captado pelo metabolismo da floresta. O que não ocorre com os combustíveis fósseis, que emitem para atmosfera além do CO₂, outros gases poluentes como o enxofre (ANDRADE & CARVALHO, 1998; NOGUEIRA et al., 2000).

Atualmente, no Brasil, aproximadamente 69% de madeira consumida por ano é destinada à energia (220 milhões metros cúbicos; MME, 2007) e 31% destinada às indústrias de segunda transformação (142,7 milhões de metros cúbicos), compreendendo a produção de celulose e papel, serraria, chapas e painéis (SBS, 2007; AMS, 2007). Isto, deve-se ao fato do país possuir extensões de terra significativas com vocação florestal, ótimas condições para o uso da biomassa florestal, disponibilidade de tecnologias, clima favorável, precipitação desejável e alto potencial hídrico, destacando-se quanto à geração de energia (ANDRADE & CARVALHO, 1998; NOGUEIRA et al., 2000).

Em relação ao uso da lenha em 2006 (florestas plantadas e nativas), 42% foi utilizado em carvoarias para produção de carvão, 29% em uso residencial (para cocção de alimentos), 20% nas indústrias, 8% na agropecuária e 1% em outras aplicações (MME, 2007).

O carvão vegetal é o resíduo sólido resultante da carbonização da madeira, apresentando as seguintes características: coloração negra brilhante, poroso, possui uma concentração maior de carbono do que o material que o originou (QUADROS, 2005), friável e frágil. Sua composição básica é de carbono fixo, cinzas e matérias volatilizáveis (WENZL, 1970). Segundo Sampaio & Mello (2001), o processo de carbonização consiste na destilação da madeira, ocorrendo a transformação desta em uma fração sólida rica em carbono – o carvão vegetal, e uma fração gasosa, composta por vapores e gases. De acordo com Brito (1990); Andrade (1993); Andrade & Carvalho (1998), uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, permitindo a obtenção do chamado líquido pirolenhoso e a outra parte resulta em gases incondensáveis inflamáveis, a exemplo do CO, H₂, CH₄, C₂H₆, dentre outros. O líquido pirolenhoso é constituído por água e por compostos químicos como os ácidos acético e fórmico, o éter, o álcool metílico e etílico, a acetona, o alcatrão, dentre outros. De acordo com pesquisas desenvolvidas pelo projeto Infotec/Pró-Carvão (2000), quando diluído em água e, ou, urina bovina, o líquido pirolenhoso encontra uma vasta aplicação no campo das culturas

orgânicas e convencionais. O alcatrão, em virtude da sua composição, constituída basicamente por compostos fenólicos, creosoto e piche, pode ser utilizado como combustível, como preservativo de madeira ou como importante matéria-prima nas indústrias química e farmacêutica.

A transformação da lenha em carvão vegetal começa a partir de 180°C e se completa em torno de 400°C (ROHDE, 2007). Este processo necessita de uma fonte de calor, podendo esta ser proveniente da própria combustão do material a ser carbonizado (fonte interna) ou a partir do aquecimento elétrico (fonte externa) (BRITO, 1990).

O processo de carbonização é realizado em fornos construídos em alvenaria ou metal. No Brasil, utiliza-se com maior freqüência os fornos de alvenaria, sendo estes considerados mais simples e práticos. Já em outros países, utilizam-se as retortas que são equipamentos construídos geralmente de metal, onde a carbonização é processada sob forma industrial, com maiores condições de controle do processo (QUADROS, 2005).

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal (BRITO, 1990; SBS, 2007). Na produção de carvão vegetal, em 2006, foram consumidos aproximadamente 38,3 milhões de toneladas de lenha, o equivalente a 41,7% de toda lenha produzida (MME, 2007), em razão principalmente do elevado crescimento da produção de ferro gusa e a substituição do carvão mineral.

Em 2006, a produção brasileira de carvão vegetal provenientes de plantios florestais alcançou cerca de 18,02 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) resultando em um aumento de 1,24% em relação a 2005 (17,8 milhões de mdc). A produção do carvão vegetal é semelhante ao seu consumo interno, alavancado pela produção siderúrgica. (ABRAF, 2007)

Segundo Nogueira & Lora (2003), a produção de carvão vegetal apresenta grande importância econômica e pode ser realizada de forma tradicional, utilizando lenha de floresta nativa e moderna, carbonizando lenha de plantios florestais. A Sociedade Brasileira de Silvicultura (2007) estima que do total consumido pelo país, 51,1% (17,9 milhões mdc) sejam de origem de florestas plantadas e 48,9% (17,2 milhões mdc) de florestas nativas.

O carvão vegetal é um insumo energético que apresenta grande importância econômica para o país, com destaque especial na indústria siderúrgica, fornecendo calor e agindo como redutor para produção de ferro-gusa. Este, por sua vez, representa a matéria-prima básica para a produção de aços e ferros fundidos, constitui a base de todo o desenvolvimento da chamada indústria metalúrgica, a qual apresenta importância na economia brasileira (ABRACAVE, 1999).

O carvão vegetal destinado a siderurgia representa uma das atividades mais importantes que alavancam desenvolvimento industrial do nosso país (BRITO, 1999). Sua utilização tem como consequência uma série de vantagens, dentre elas por constituir uma fonte energética renovável, ser uma ótima alternativa para o país, o qual possui redutor fóssil de má qualidade, economiza recursos com a importação de redutor fóssil e uso de tecnologia totalmente nacional, ocupação de extensas áreas disponíveis de terra, além da criação de grande número de empregos, direta e indiretamente.

Apesar do grande destaque econômico que o carvão pode representar para o país, atualmente, ainda há uma enorme precariedade nas atividades realizadas nas carvoarias artesanais, exploração do trabalho em condições desumanas, incluindo crianças e adolescentes. Segundo o Ministério do Trabalho e do Emprego (BRASIL, 2003), é importante garantir condições de trabalho seguras e saudáveis, tendo como finalidade a preservação da saúde e da vida do trabalhador, prevenindo acidentes e doenças ocupacionais.

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. Sua chegada ao Brasil se deu pela aquisição da Companhia Metalúrgica Barbará e da Brasilit. E hoje, após quase 70 anos de desenvolvimento contínuo, o grupo ocupa uma posição de destaque, firmando-se como um dos maiores grupos industriais do país.

A empresa em estudo 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 primeira fusão em altos fornos, utilizando carvão vegetal.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal fazer o levantamento do processo de carbonização da empresa Saint Gobain Canalizações LTDA. Mais especificamente, comparar o processo de produção dessa empresa com outras e analisar quimicamente o carvão produzido em sua unidade de produção.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Caracterização da Área de Estudo

O presente estudo foi realizado em uma unidade de produção de carvão vegetal pertencente a empresa Saint Gobain LTDA. Esta unidade encontra-se situada no município de Seropédica, no Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Onde se encontra localizada a $22^{\circ}45'20''$ S de latitude e $43^{\circ}41'49''$ W de longitude, nos limites do Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.



Figura 1: Localização do Município de Seropédica – RJ.

A unidade de carvoejamento (Figura 2) ocupa uma área total de 13.240 m², sendo a área de produção de carvão vegetal igual a 1.384 m² (áreas dos fornos, área para o depósito de lenha e área para o depósito de terra). A matéria-prima a ser carbonizada provém de uma área de 591,20 ha, plantada com quatro espécies a saber: *Eucalyptus citriodora*, *E. pellita*, *E. robusta* e *E. urophylla*. (SOUZA, 2007).



Figura 2: Foto aérea da unidade de carvoejamento.

2.2 - Levantamento dos Dados do Processo Carbonização da Empresa Saint Gobain

A coleta de dados foi executada através um questionário realizado com funcionários da empresa diretamente envolvidos com o processo de produção e com o Engenheiro florestal responsável.

Tabela 1: Questionário para obtenção dos dados.

Plantio:
1 - Quais espécies utilizadas?
2 - Qual a área do plantio?
3 - Quando ocorreu o plantio?
4 - Qual espaçamento usado?
5 - Qual adubação aplicada?
6 - Qual tempo para efetuar o corte?
Corte:
7 - Como é feito o corte?
8 - Quais medidas das toras?
9 - Quantidade de madeira cortada por dia?
10 - Há corte em dias de chuva?
11 - Possuem estoque de madeira para dias de chuva?
Transporte madeira:
12 - Quantos caminhões são utilizados?
13 - Qual capacidade de cada caminhão?
Unidade de Produção:
14 - Quantos fornos?
15 - Qual tipo de forno?
16 - Quais as dimensões do forno?
17 - Como ocorre o acendimento?
18 - Qual capacidade de cada forno?
19 - Ocorre a seleção de espécie para o enforamento?
20 - Qual temperatura de carbonização dos fornos?
21 - Quanto tempo leva o processo de carbonização?
22 - Qual a área total da unidade de produção?
23 - Possui benfeitorias no local? Quais?
24 - Qual o objetivo final do carvão produzido?
Carvão Produzido:
25 - Quantidade de carvão produzido por forno?
26 - Quantidade de carvão produzido por dia?
27 - Quantidade de carvão transportado por dia?
28 - De que forma o carvão é transportado?
Trabalhadores:
29 - Quantos trabalhadores? E em cada etapa?
30 - Qual tempo de trabalho por dia?
31 - Os trabalhadores possuem carteira assinada?

2.3 – Comparação entre os Sistemas de Carbonização

Para comparar os processos de carbonização utilizaram-se os dados obtidos através do questionário da empresa Saint Gobain Canalizações LTDA e dados coletados através de uma revisão de literatura, selecionando diferentes sistemas de carbonização.

2.4 - Análise Química Imediata do Carvão

A análise química do carvão vegetal se refere à determinação da porcentagem dos teores de umidade (TU), de materiais voláteis (TMV), de cinzas (TC) e de carbono fixo (TCF) contidos no carvão, com base na Norma ASTM D 1762-64, adaptada por OLIVEIRA et al. (1982).

As amostras de carvão vegetal provenientes da unidade de carvoejamento em estudo, foram maceradas (Figura 3) e em seguida peneiradas (Figura 4). Foram utilizadas amostras com a granulometria média inferior a 1,00 mm e superior a 0,25 mm, mantidas numa estufa regulada a 105 ± 3 °C por cerca de 24 horas.



Figura 3: Maceração da amostra de carvão vegetal.



Figura 4: Conjunto de peneiras sobrepostas.

Posteriormente, foram realizadas as seguintes determinações:

2.4.1 - Teor de umidade (TU)

Para determinação do TU, foram utilizados 3 béckers onde foram pesados em balança analítica (Figura 5) anotando-se o peso úmido dos mesmos: $PU_{(bec1)}$, $PU_{(bec2)}$, $PU_{(bec3)}$. Em seguida, pesou-se cerca de 1 grama da amostra de carvão vegetal homogeneizada para cada bécker. Estes foram conduzidos para uma estufa regulada a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, onde permaneceram por 24 horas e em seguida foram pesados em balança analítica ($PS_{(bec1)}$, $PS_{(bec2)}$, $PS_{(bec3)}$).



Figura 5: Balança eletrônica utilizada para pesagem da amostra.

Para a determinação do teor de umidade utilizou-se a equação 1.

$$TU = \frac{PU - PS}{PS} \times 100$$

Equação 1,

onde:

TU = Teor de Umidade (%);

PU = Peso da amostra + peso becker (g);

PS = Peso da amostra após estufa + peso bécker (g).

2.4.2 - Teor de materiais voláteis (TMV)

Para determinação do TMV, foram utilizados três cadinhos, onde foram pesados em balança analítica anotando-se o peso dos mesmos: $P_{(cad1)}$, $P_{(cad2)}$, $P_{(cad3)}$. Em seguida, pesou-se cerca de 1 grama da amostra de carvão vegetal homogeneizada para cada cadinho. Estes foram conduzidos para uma mufla regulada a $950^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, onde permaneceram por 2

minutos sobre a porta aberta (A), por 3 minutos na borda da mufla (B) e por 6 minutos no interior mufla (C) (com a porta fechada), representados na Figura 6.

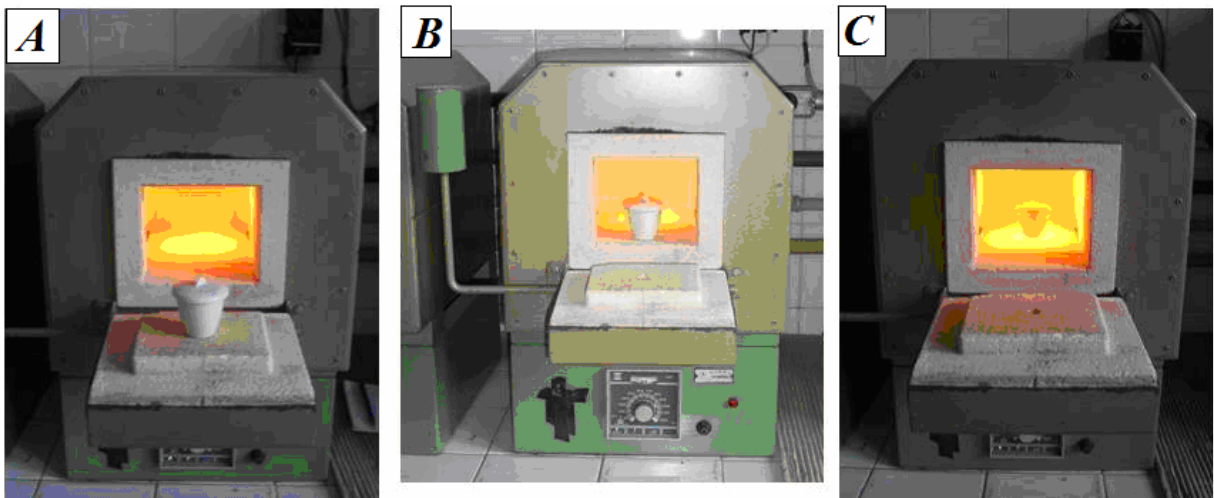


Figura 6: Mufla regulada a 950°C para determinação do teor de materiais voláteis.

Posteriormente, os cadinhos foram retirados da mufla e colocados em um dessecador com sílica (Figura 7) para esfriamento da amostra e pesou-se em uma balança analítica (sem a tampa).



Figura 7: Dessecador utilizado para esfriamento das amostras.

O teor de materiais voláteis foi determinado através da equação 2.

$$TMV = (1,0 - PA) \times 100$$

Equação 2,

onde:

TMV = Teor de materiais voláteis (%);

PA = peso da amostra de carvão vegetal após a passagem pela mufla (g).

2.4.3 – Teor de cinzas (TC)

Para determinação do TC, foram utilizadas as mesmas amostras de carvão vegetal do item anterior, dentro dos mesmos cadinhos, previamente tarados (sem a tampa). Estes foram conduzidos para o interior de uma mufla regulada a $750^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, com a porta fechada, onde permaneceram por um período de 6 horas. Em seguida, os cadinhos foram retirados da mufla e colocados em um dessecador com sílica para esfriamento da amostra e pesou-se em uma balança analítica (sem a tampa). Para determinação do Teor de Cinzas utilizou-se a equação 3.

$$\text{TC} = \text{PR} \times 100$$

Equação 3,

onde:

TC = Teor de Cinzas (%);

PR = Peso do resíduo no interior do cadinho (g).

2.4.4 – Teor de carbono fixo (TCF)

Para determinação do TCF do carvão vegetal, foi utilizada a equação 4.

$$\text{TCF} = 100\% - (\text{TMV} + \text{TC})$$

Equação 4,

onde:

TCF = Teor de Carbono Fixo (%);

TMV = Teor de Materiais Voláteis (%);

TC = Teor de Cinzas (%).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Comparação entre os Sistemas de Carbonização

Para analisar todo o processo de carbonização da unidade de carvoejamento da empresa Saint Gobain LTDA, utilizou-se os resultados obtidos através do questionário (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados obtidos através do questionário.

Plantio	
Espécies utilizadas	<i>Eucalyptus urophylla</i> , <i>E. pellita</i> e <i>E. citriodora</i>
Área do plantio	584 ha
Ano do plantio	1990
Espaçamento	3 m x 2 m
Adubação	Pré - plantio: supersimples e após 1 ano: NPK 20-00-20.
Tempo de corte	7 anos
Corte:	
Corte	Motoserras
Tamanho das toras	1,80 m de comprimento
Madeira cortada (m3/dia)	100 a 115 m ³
Corte em dias de chuva	Não
Estoque de madeira para dias de chuva	Sim
Transporte madeira (Figura 8):	
Caminhões	3
Capacidade cada caminhão	15 a 18 m ³
Unidade de Produção:	
Quantidade de fornos	30
Tipo de forno	Superfície com chaminé
Dimensões do forno	6m comp x 3 m larg x 2m altura x 0,85m de arco da capota
Acendimento	Isca de graveto e fósforo
Capacidade por forno	35 st
Seleção de espécie para o enforamento	Não
Temperatura de carbonização	500°C
Tempo 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 terra)
Objetivo final do carvão produzido	abastecimento dos altos-fornos, para redução ferro gusa e obtenção de energia
Carvão Produzido:	
Quantidade de carvão produzido por forno	17,5 MDC
Quantidade de carvão produzido por dia	51 m ³
Quantidade de carvão transportado por dia	51 m ³
Transporte do carvão (Figura 9)	A granel e caminhão tipo gaiola
Trabalhadores:	
Situação dos trabalhadores	Possuem carteira assinada
Quantidade de trabalhadores	25
Horas de trabalho por dia	8 hs/dia



Figura 8: Transporte da lenha



Figura 9: Transporte do carvão vegetal produzido na unidade de carvoejamento

A empresa Saint Gobain utiliza as espécies *Eucalyptus urophylla*, *E. pellita* e *E. citriodora* para produção de carvão vegetal. Segundo informa o artigo da Revista da Madeira, o eucalipto é a fonte mais segura, perene e renovável de energia para os países tropicais, como o Brasil, devido ao seu rápido crescimento, a elevada produção de sementes, a facilidade de tratamentos silviculturais e a grande plasticidade do gênero. Sendo então a escolha das espécies desse gênero uma ótima fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal.

Os plantios com espaçamentos iguais ou superiores a 3 m² e corte aos sete anos de idade, revelaram-se os mais adequados, por fornecerem maior quantidade de calor por unidade de volume (WEEK et al., 1977, citado por STURION et al., 1988). Assim, o espaçamento e a idade de corte utilizados pela empresa encontram-se adequados para a produção de carvão vegetal a ser utilizado em altos fornos.

As dimensões das peças, especificamente o diâmetro, são variáveis importantes relacionadas à operacionalização e processo de carbonização. 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 (VALENTE, 1986). Sendo assim, a lenha utilizada (18 cm de diâmetro) na unidade de carvoejamento apresenta vantagens operacionais, melhorando a qualidade do carvão vegetal produzido.

O forno utilizado na unidade de produção de carvão vegetal da empresa em estudo é do tipo de superfície com chaminé (Figura 10), tendo apresentado um rendimento de 50%, ou seja dos 35 st de lenha que é enornado, são produzidos 17,5 mdc por forno. Este resultado encontra-se um pouco acima do rendimento encontrado por Araújo (2005) para esse tipo de forno (40%).



Figura 10: Forno do tipo Superfície com Chaminé

Com os resultados obtidos do levantamento do processo carbonização da Empresa Saint Gobain LTDA (A), foi realizada uma comparação com duas empresas paranaenses que apresentam sistemas de carbonização diferenciados para a produção do carvão vegetal (Tabela 3). Uma empresa encontra-se situada no município de Ipiranga-PR, com sistema de carbonização tradicional utilizando fornos tipo “rabo quente” de superfície (B) e outra situada no município de Jaguariaíva-PR, que utilizam fornos cilíndricos verticais (C) (COLOMBO et al., 2006).

Tabela 3: Dados comparativos entre os diferentes tipos de fornos.

Tipos de Forno	(A) Superfície c/ chaminé	(B) "Rabo- Quente"	(C) Cilíndricos Verticais
Investimento Inicial			
Montante em R\$	40.000,00	30.600,00	150.000,00
Dados Técnicos/Operacionais			
Quantidade de fornos no sistema	20*	20	4
Capacidade do forno em estéreo de lenha	35	16	2
Tempo de carbonização em horas	240	240	8
Produção diária - carbonizações por forno	01	0,1	3
Razão de conversão - estéreo de lenha de eucalipto/MDC	2,0	2,0	1,5
Dias produtivos no mês	20	30	30
Número de empregados	7	7	5
Regime de produção em horas/dia	8	9	24
Horas trabalhadas/funcionário.mês	Mensalista	Mensalista	180
Custos Operacionais			
Mão-de-obra em R\$/mês por funcionário	700,00	600,00	1046,00
Custo estimado da manutenção mensal	1.600,00	1.000,00	2.160,00
Custo total	6.500,00	5.200,00	7.390,00

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

*Dado adaptado para comparação.

De acordo com os dados comparativos acima (investimento inicial e custos operacionais), observa-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). O que já era de se esperar, uma vez que o forno "rabo-quente" é considerado um sistema tradicional de carbonização por ser mais barato e de fácil construção, porém apresenta baixo rendimento gravimétrico (rendimento em função do peso de lenha enfiado), representando uma perda econômica expressiva e subutilização da lenha carbonizada (PIMENTA, 2002).

Quando comparamos o sistema de produção do forno de superfície com chaminé (A) com o sistema de produção de forno cilíndrico vertical (C), constata-se que mesmo necessitando de um maior investimento inicial e também mão-de-obra qualificada, apresenta diversas vantagens por ser mais moderno e mais completo. Assim, é possível obter um maior controle do processo, melhorando a qualidade do carvão produzido; além de ser possível a utilização dos seus subprodutos em diversos fins, agregando valores a estes e com isso, aumentando o rendimento da empresa. Consequentemente, ocorre uma redução da poluição gerada pelo processo de carbonização, contribuindo assim para a preservação do meio ambiente. Além disso, pode-se destacar o maior aproveitamento da lenha, uma vez que aumenta o rendimento do carvão produzido (COLOMBO et al., 2006).

3.2 – Análise Química Imediata do Carvão

A análise química imediata do carvão vegetal envolve a determinação de seus principais componentes, tais como TU, TMV, TC, TCF. Sua importância está relacionada com a classificação dos carvões, caracterização do combustível para aplicação industrial, bem como para efeitos comparativos entre alternativas energéticas.

A Tabela 4 apresenta os valores médios referentes a tais componentes.

Tabela 4 : Valores médios dos teores de umidade (TU), de matérias voláteis (TMV), de cinza (TC) e de carbono fixo (TCF) do carvão vegetal analisado.

	TU	TMV	TC	TCF
Amostra de carvão	11%	16%	1,30%	82,70%

O carvão vegetal produzido pela empresa Saint Gobain LTDA apresentou um teor de umidade médio elevado, o que não é aconselhável, pois reduz o rendimento térmico devido a 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.

De acordo com WENZL (1970), observa-se que os demais valores médios estão dentro do limite aceitável, tais como: teor de materiais voláteis de 12% a 16%, teor de cinzas de 1 a 3% e carbono fixo cerca de 80%.

O teor de materiais voláteis se refere a parte do carbono que sai juntamente com os gases (CO, CO₂ e hidrocarbonetos) quando se realiza a queima do carvão vegetal (MEIRA, 2002). Elevados TMV facilitam a ignição, porém a queima ocorre com bastante fumaça.

Com relação ao teor de cinzas, pode-se dizer que este é o resíduo de óxido minerais presentes no carvão vegetal após sua combustão completa (MEIRA, 2002). Assim, não é aconselhável o uso de carvão com altos TC, pois sugere que o combustível apresenta elevados níveis de minerais, o qual é prejudicial ao metal que será produzido, apresentando uma qualidade inferior.

O teor de carbono fixo refere-se à porcentagem de carbono que permanece relativamente intacta quando se efetua o aquecimento do carvão vegetal (MEIRA, 2002). Sendo preferíveis os que apresentam elevados TCF, pois queimam mais lentamente, sendo um indicador da qualidade do carvão vegetal (FAO, 1983, citado por MEIRA, 2002).

Portanto, um carvão quimicamente desejável deve apresentar alta taxa de carbono fixo e baixa porcentagem de cinzas (JUVILLAR, 1980).

4 – CONCLUSÃO

- A empresa Saint Gobain LTDA encontra-se bem estruturada e organizada com todo o seu processo de carbonização, visto que todas as informações do plantio e da unidade estão disponíveis e dentro da legalidade.
- O sistema de carbonização da empresa pode ser considerado intermediário, ou seja, não é artesanal ou tradicional como o “Rabo-Quente” e tão moderno como o Cilíndrico Vertical, porém a sua produção atende toda a demanda necessária que a empresa necessita.
- O carvão vegetal produzido pela empresa Saint Gobain LTDA foi considerado de boa qualidade para utilização em altos fornos (reductor), principalmente pelo elevado teor de carbono fixo.
- Os funcionários possuem carteira assinada e utilizam Equipamentos de Proteção Individual (EPI), logo a empresa encontra-se regularizada perante a lei.
- A unidade produtiva da empresa promove um aumento da geração de emprego para a população local, visto que a maioria dos funcionários reside em Seropédica - RJ.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACAVE - Associação Brasileira dos Recursos Naturais Renováveis. **Anuário Estatístico** / 98. Belo Horizonte, MG, 1999. 12p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA- AMS. Disponível em: <<http://www.abracave.com.br/anuario.htm>>. Consulta realizada em 18 de março de 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL- ASTM, **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke**. Book of Standards, V. 05.06.,2005.

ANDRADE, A. M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993. 105 f.

ANDRADE, A. M. de & CARVALHO, L. M. de. **Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro**. Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Floresta e ambiente, 5(1): 24-42, jan./dez., 1998.

ARAUJO, L. A. Manual de Siderurgia. São Paulo: Arte & Ciência, 2005. v.1. p. 470.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, ABRAF, Anuário Estatístico da ABRAF, versão 2006 <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>> Consulta Realizada em 10 de junho de 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. ASSUNTO 2003. Disponível em: <www.mte.gov.br>.Consulta Realizada em 15 de Março de 2007.

BRITO, J. O. **O uso energético da madeira**. Estudos Avançados 21 (59), São Paulo, SP, 2007.

BRITO, J. O. **Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais**. Revista de Estudos. Avançados, v.4, n.9, p.221-227, 1999.

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Documentos Florestais, Piracicaba, SP, Maio, 1990. 19p.

COLOMBO, S. F.O.C., PIMENTA, A.S., HATAKEYAMA,K.. **Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável**. XIII Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, SP, Novembro, 2006.

ELIAS, C.A. **Fabricação de carvão vegetal**. 2. ed., Rio de Janeiro, RJ, Ministério da Agricultura, SIA - Serviço de Informação Agrícola, 1961. 43p. (SIA N° 229).

EUCALIPTO na indústria de carvão vegetal. Revista da Madeira, n.75, 2003. Disponível em < http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=75>

INFOTEC/PRÓ-CARVÃO - Informativo Técnico do Programa de Qualificação da Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo. **Carbonização da madeira e produtos obtidos**. Piracicaba, SP, n. 1, ano 1, 2000. np.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS- IPEF. **Relatório Estatístico da Sociedade Brasileira de Silvicultura**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Consulta realizada em 29 de Maio de 2007.

JUVILLAR, J. B. **Tecnologia da transformação da madeira em carvão**. In Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Manual CETEC: Uso da madeira para fins energéticos.. Belo horizonte. p. 67-82. 1980.

MEIRA, A. M. **Diagnóstico Sócio-Ambiental e Tecnológico da Produção de Carvão Vegetal no Município de Pedra Bela, Estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002. 105 f.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria de Energia. Disponível em: <http://www.brasil-rounds.gov.br/geral/balanco_energetico/ben_p03.pdf>. Consulta realizada em 30 de Maio de 2007.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília, DF, 2000. 144p.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª ed., 2003. 199pp.

OLIVEIRA, J.B.de; GOMES, P.A. & ALMEIDA, M.R.de. **Carvão vegetal - destilação, carvoejamento, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte, MG, CETEC - Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982. 173p. (SPT 6).

PIMENTA, A.S. **Curso de atualização em carvão vegetal**. Apostila, documento interno. Viçosa: UFV/DEF, 2002.

QUADROS, L. Q. **Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas**. MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.vitalflora.org.br/carvao.htm>>. Acessado em 25 de maio de 2008.

ROHDE, G.M. **O Mito da combustão espontânea do carvão**. Revista da Madeira, Julho, 2007.

SAMPAIO, R.S., MELLO, M.G. **Produção de metais com biomassa plantada**. Biomassa - Energia dos Trópicos em Minas Gerais. LabMídia/FAFICH, Belo Horizonte, MG , 2001. p.163-178.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Segmento de carvão vegetal**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acessado em 13 Junho de 2007.

SOUZA, J.T. **Balanço da emissão de carbono em uma unidade de carvoejamento no município de seropédica, RJ.** 2007. 31 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia). Instituto de Florestas. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

STURION, J. A., PEREIRA, J. C. D., CHEMIN, M. S. **Qualidade da Madeira de *Eucalyptus Viminalis* para fins Energéticos em Função do Espaçamento e Idade de Corte.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 16, p.55-59, 1988.

VALENTE, O. F. **Carbonização de madeira de eucalipto.** Informe Agropecuário, v.12, n. 141, p. 74-79, 1986.

WENZL, H.F.J. **The chemical technology of wood.** Academic Press, New York., NY. 692p, 1970.