



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC**  
**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GILVAN DOS SANTOS GAUDERETO**

**COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

**UBÁ**  
**2017**

**GILVAN DOS SANTOS GAUDERETO**

**COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade Presidente Antônio Carlos - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Augusto Ramos dos Reis.

**UBÁ**  
**2017**

**GILVAN DOS SANTOS GAUDERETO**

Revisão Bibliográfica apresentada à Faculdade Presidente Antônio Carlos - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Carlos Augusto Ramos dos Reis

William José Lopes

Gilmara Martins

Faculdade Presidente Antônio Carlos – FUPAC

## **Agradecimentos**

Agradeço aos professores e funcionários da Faculdade Presidente Antônio Carlos – FUPAC/UBÁ que contribuíram para a minha formação profissional, em especial aos professores Carlos Augusto Ramos dos Reis e José Damato pelas orientações acadêmicas cedidas para realização do trabalho.

Aos meus pais, Geraldo Martins Gaudereto (*in memoriam*) e Nair dos Santos Gaudereto, que me iniciaram na arte da vida, dando-me educação e exemplo de vida.

Aos meus irmãos, companheiros queridos e exemplos de dedicação, superação e honestidade.

Aos meus amigos de trabalho, que me incentivaram das empresas Vallourec & Mannesmann Tubes e Aperam BioEnergia.

À direção, amigos e funcionários da Fazenda Guaxupé pelos dados e apoio cedido para a realização do trabalho.

À professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, UFV, pelo material cedido ENSINARAM que muito enriqueceu o trabalho.

A todos os meus amigos de graduação, pelos 5 anos de caminhada juntos, lutando para a conquista deste momento especial.

## Resumo

O Objetivo do trabalho foi comparar o sistema de produção de carvão vegetal de uma empresa que trabalha com queimador de gases. Foi analisado um período onde a empresa trabalhou com uma plataforma de fornos em sistema com queima de gases e a outra sem o sistema de queima. Onde foram usados dados que comprovaram a eficiência produtiva do sistema de queimador que auxiliam na retirada dos gases da carbonização. A matéria prima utilizada na produção foi analisada quanto à umidade e densidade para garantir uma igualdade nos tratamentos. No período avaliado, a qualidade do carvão foi monitorada e não foi detectada nenhuma alteração nos parâmetros exigidos pela indústria de Silício Metálico. Foi feito uma revisão bibliográfica de trabalhos relacionados à sistema de produção de carvão vegetal com uso de sistema de fornalha/queimador para queima de gases. Os trabalhos comprovaram a eficiência ecológica dos queimadores para a redução de poluentes emitidos pelo processo. Os resultados mostram ganhos significativos do sistema com queima de gases na produção e na forma sustentável de se produzir carvão para usos siderúrgicos no país. O sistema também foi considerado um novo conceito na produção de carvão com qualidade e por ser eficiente em produção limpa, sem poluir o meio ambiente e dar um aspecto mais humano à produção nacional de carvão.

**Palavras-chave:** Carvão vegetal ecológico. Queima de gases. Produção de carvão do futuro. Energia renovável.

## ABSTRACT

This study aimed to compare the charcoal production system of a company that works with a gas burner. It was analyzed a period in which the company has worked with a platform of furnaces in system with gas burner and another one without the system of burning. The obtained data proved the productive efficiency of the burner system that assists in the removal of carbonization gases. The raw material employed in the production was analyzed in terms of humidity and density to ensure equality in treatments. During the evaluation period, the quality of the coal was monitored and no changes were detected in the parameters required by the Silicon Metallic industry. It was carried out a bibliographical review of works related to the charcoal production system using a furnace / burner system for burning gases. The study proved the ecological efficiency of the burners for the reduction of pollutants emitted by the process. The results show significant gains of the system with burning of gases in the production and the sustainable form of producing coal for steelmaking in the country. The system was also considered a new concept in producing quality coal and to be efficient in clean production, without polluting the environment and give a more humane aspect to the national production of coal.

**Keywords:** Ecological Charcoal. Burning of gases. Coal Production. Renewable energy.

## 1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da madeira de eucaliptos como fonte de energia, vem se mostrando nos últimos anos como uma ótima solução para a demanda energética nacional, principalmente por atender a necessidade do setor por energia mais sustentável, potencializando-a como alternativa aos combustíveis fósseis, conduzindo seu uso à diminuição das emissões dos gases do efeito estufa.

As jazidas de carvão mineral nacionais apresentam em pequena quantidade, representando 0,5 % das reservas mundiais. Além disso, o carvão é de má qualidade, hulha (uma qualidade de carvão mineral com baixo poder calorífico e quantidade de cinza elevada (Brasil, 2014). A principal vantagem do carvão vegetal é ser renovável. O Brasil é responsável por 40% da produção mundial de carvão vegetal, tendo como destino principal a produção de ferro gusa, aço, ferro ligas e silício metálico, e, em 2008, o país consumiu cerca de 34 milhões de m<sup>3</sup> de carvão vegetal (AMS, 2009).

Nos últimos anos a silvicultura vem ganhando espaço na agricultura da Zona da Mata mineira com os plantios de florestas de eucaliptos devido a incentivos privados e governamentais e a uma boa adaptação ao clima, relevo e economia da região.

A produção de carvão vegetal no Estado de Minas Gerais mesmo em pleno século XXI, ainda é feita na sua maioria de uma forma muito primitiva e artesanal, proporcionando problemas ambientais e sociais. Essa realidade fez com que médias e grandes empresas dos setores florestais e siderúrgicos, desenvolvessem sistemas de produção voltados à mecanização das atividades, busca por processos ambientalmente corretos e relações mais responsáveis com empregados e com a sociedade.

Deste modo, o desenvolvimento de tecnologia na construção de fornos totalmente mecanizados e na evolução de sistemas que permitem a redução das emissões de gases do efeito estufa, provenientes do processo de carbonização da madeira, proporcionam vantagens aos colaboradores, ao meio ambiente, agregando valor ao produto por ser sustentável e ecologicamente correto.

Com inovador conceito integrado de produção em escala industrial de longo prazo e redução de emissões de gases de efeito estufa, o projeto conceitual da “Refinaria Guaxupé

de Carvão Ecológico”, (como é denominada a unidade), levou em consideração a utilização de fornos retangulares, construídos em alvenaria de tijolos comuns, estruturados em concreto armado, com operações de movimentação de madeira e carvão vegetal, totalmente mecanizada. A este conjunto de 30 fornos, foram agregados 2 sistemas para queima dos gases de pirólise (fumaças), constituídos de canais de interligação dos fornos e condução das fumaças, fornalhas para mistura e queima e chaminés de exaustão. O objetivo do sistema de queima é garantir a quase totalidade do abatimento das emissões, através de ações coordenadas da gestão dos ciclos de carbonização, associadas com a alimentação de combustível auxiliar (madeira e tiço) suficiente para manter o sistema em equilíbrio de queima. Essa estratégia de operação (produção + redução das emissões) contribui para a obtenção de um ambiente fabril mais salubre, além de um diferencial competitivo, do ponto de vista da comercialização do carvão vegetal, expresso pelo melhor preço de venda do produto final. Contratualmente, o produto é denominado como “carvão vegetal ecológico”, o que também denota um diferencial importante.

A empresa Refinaria Guaxupé de Carvão Ecológico Ltda, hoje é a maior e a única fornecedora de carvão vegetal Ecológico, produção com redução dos gases poluentes do processo, para os altos fornos da Dow Química Silício do Brasil, uma multinacional Americana com unidade em Santos Dumont – MG. A empresa é líder mundial no setor de Silício. No processo da unidade da Dow Química o carvão vegetal é usado como um termo redutor junto com mineral quartzo na elaboração do Silício metálico.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo principal fazer o levantamento do processo ecológico de produção de carvão vegetal de eucaliptos da empresa Refinaria Guaxupé de Carvão Ecológico Ltda / Fazenda Guaxupé.

#### Objetivo específico

- Comparar os processos de produção de carvão vegetal de uma empresa que trabalha com o sistema de queima dos gases da carbonização e analisar sua interferência no processo produtivo;
- Fazer um estudo bibliográfico de trabalhos relacionados a sistemas de produção com queima dos gases, analisando sua eficiência ecológica.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

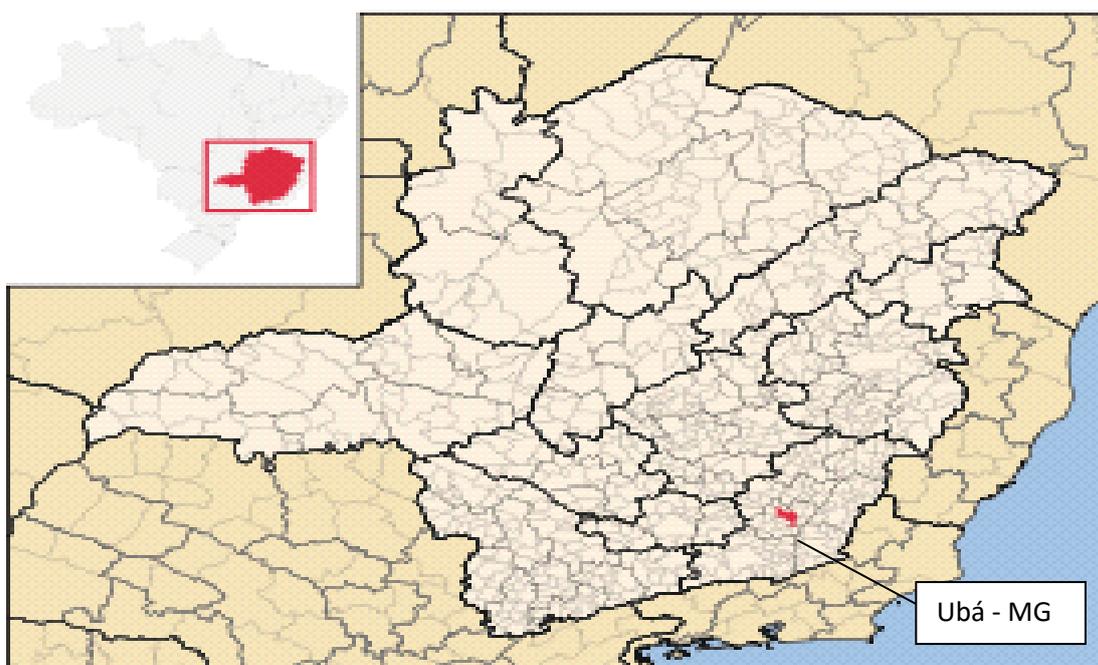
### 2.1 – CARACTERIZAÇÕES DA REGIÃO ESTUDADA

O trabalho de estudo foi realizado em uma refinaria de carvão vegetal (Fazenda Guaxupé) da empresa Refinaria Guaxupé de Carvão Ecológico Ltda. A empresa está situada na Zona da Mata Mineira, mas especificamente no município de Ubá – MG (Fig.1).

Nos últimos anos a silvicultura vem ganhando espaço na agricultura dessa região mineira com os plantios de eucaliptos devido a incentivos privados e governamentais e a uma boa adaptação ao clima e relevo da região.

A produção de carvão vegetal como forma de agregar valor a madeira vem acompanhando esse crescimento e a empresa Refinaria Guaxupé de Carvão Ecológico Ltda (Fazenda Guaxupé) é pioneira na nossa região com um processo de produção industrial e ecologicamente correto.

**FIGURA 1 – Localização do município de Ubá – MG**



Fonte: Google Maps

A empresa dispõe de uma área de 1.400 hectares, sendo 1.000 hectares ocupados por florestas plantadas de eucaliptos. Florestas clonadas (Urograndis, espécie híbrida resultado do cruzamento das espécies Urophylla e Grandis). Material genético com alto rendimento produtivo. A Refinaria de carvão ecológico, unidade de produção de carvão vegetal ocupa uma área de 40.000 m<sup>2</sup>, composta por trinta fornos e dois queimadores de gases, instalações de apoio, áreas para depósito de madeira e de carvão. (Fig.2)

A capacidade instalada hoje da unidade de produção é de aproximadamente 3.000 m<sup>3</sup> de carvão mês, que são todos vendidos a Dow Química Silício do Brasil, ressaltando que o carvão tem o seu valor negociado em m<sup>3</sup> e não em toneladas como é mais utilizado hoje pelas grandes siderúrgicas nacionais, portanto os números abordados no estudo vão ser em cima de conversão m<sup>3</sup> de madeira para m<sup>3</sup> de carvão e não peso de madeira para peso de carvão, que são os rendimentos gravimétricos.

**FIGURA 2 -** Vista aérea da Refinaria de Carvão Ecológico



**Fonte:** Google Earth

O processo de carbonização é realizado em fornos construídos em alvenaria ou metal com ou sem sistema de queima de gases. No Brasil, utiliza-se com maior frequência os fornos de alvenaria, sendo estes mais simples e práticos (QUADROS, 2005).

A produção de carvão vegetal esteve sempre associada com pobreza, falta de tecnologia, até mesmo com crimes ambientais e sociais, porém, atualmente essa visão vem sendo modificada pela adoção de novas tecnologias, cada vez mais sustentáveis, do ponto de vista econômico, social e ambiental (CARDOSO, 2010)

Atualmente o alvo de grandes investimentos por parte de grandes empresas do ramo de energia florestal são os fornos retangulares, que chegam a uma capacidade de 450 m<sup>3</sup> de madeira, além de suas operações de carregamento e descarregamento serem mecanizados. Outra grande vantagem deste tipo de forno é permitir a recuperação ou queima dos gases gerados durante a carbonização (RAAD, 2000).

Além de um forno mais técnico para a produção, hoje se busca a otimização do processo de conversão da madeira em carvão vegetal.

A partir dos anos 70, pequenos grupos começaram a se organizar e debater sobre as questões ambientais, mas apenas a partir de meados da década de 90 os movimentos começam a chamar a atenção de população e, principalmente, de grupos políticos. As empresas percebendo que a boa gestão dos impactos ambientais derivados da sua atividade podem se converter não só em oportunidades de negócios, como também em diferencial competitivo na medida em que passam a cobrar e valorizar uma nova conduta de consumidor (NETO et al., 2016). A empresa vem apostando no conceito muito a atual de hoje que é o mercado verde, principalmente com o surgimento de consumidores conscientes que valorizam produtos sustentáveis e com as várias restrições legais sobre os recursos minerais não renováveis.

## **2.2 – CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA PRIMA**

A madeira utilizada para o produção de carvão é o eucalipto, clone (3335), desenvolvido pela empresa Plantar Siderúrgica S.A. Material com densidade variando entre 470 Kg/m<sup>3</sup> a 510 Kg/m<sup>3</sup>, com umidade de 45 % base seca ( $U(\% \text{ b.s.}) = (\text{massa de água} / \text{massa de matéria seca}) \times 100$ ) e 180 dias de secagem no campo.

A área de florestas plantadas com a espécie *Eucalyptus* spp totalizou 5.473.176 ha, em 2013, representando crescimento de 3,2% (169,012 há) frente ao indicador 2012. A cadeia produtiva do setor brasileiro de base florestal associado às florestas plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos finais nos segmentos industriais (IBÁ, 2014). Com a crescente demanda no Brasil por produtos florestais, as espécies de eucalipto

passaram a ser plantada através de reflorestamentos para diversos fins, em função do seu rápido crescimento, adaptabilidade, qualidade da madeira, aliados ao custo de produção (ANDRADE, 1991), os produtos florestais oriundos de florestas de eucalipto tornaram-se mais competitivos no mercado madeireiro (STAPE, 1995, apud FERNANDO, 2009).

### **2.2 1 – Controle da matéria prima**

Os caminhões e máquinas que chegam carregados de madeira são medidos em oito pontos na carga, fotografado, pesado em balança rodoviária, tudo registrado em planilhas que permitem a rastreabilidade da madeira. A madeira é colocada nos boxes dos fornos ou pátio de estocagem. (Fig.3)

**FIGURA 3** - Pesagem e medição da matéria prima



**Fonte:** Autor

A empresa dispõe de um laboratório para análise de umidade e de densidade da madeira que entra para o processo produtivo. (Fig.4)

**FIGURA 4 - Análise de umidade e densidade no laboratório**



**Fonte:** Autor

## **2.3 – CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA**

### **2.3.1 – Carregamento do forno**

São utilizadas máquinas Pá carregadeira W20 com cabine, ar condicionado, adaptadas com sistema de braço garra para deslocar a madeira dos boxes até o interior dos fornos. São feitos quatro lances (pilhas) de madeira dentro dos fornos totalizando um volume carregado de 50 m<sup>3</sup> de madeira. (Fig.5)

**FIGURA 5** - Máquina com braço de garra para carga de forno.



Fonte: Autor

### **2.3.2 – Carbonização**

Após carregamento completo, as portas são fechadas e lacradas com uma mistura de argila e água, os controladores de ar (registros) dos fornos são abertos, e posteriormente é realizada a ignição do forno pela câmara de ignição.

Existe um procedimento escrito, PO (Procedimento Operacional) para a condução do processo, onde as entradas de oxigênio são controladas de acordo com a evolução das temperaturas.

O tratamento dado aos fornos no período dos testes segue a mesma PO. Durante o processo de carbonização as temperaturas são monitoradas por meio de um pirômetro infravermelho (Fig.6). São utilizadas planilhas físicas para coleta das informações que depois são lançadas em computador. Ao fim da carbonização os controladores de ar são fechados para que o forno entre na fase de resfriamento. A carbonização, portanto, é um processo de pirólise lenta, cujo objetivo principal é eliminar a maior parte do oxigênio e do hidrogênio pela ação do calor e, com isso, possibilitar a concentração do carbono na estrutura residual, que é carvão vegetal. A transformação da madeira em carvão é um

processo de decomposição térmica físico-química irreversível, que se inicia com a secagem, com a perda de água livre ou capilar e água de adesão, assim inicia-se a fase de pirólise, com a produção de gases condensáveis e não condensáveis. (CARDOSO apud, VALE e GENTIL, 2008).

Segundo PIMENTA, 2000, O processo de carbonização pode ser dividido nas seguintes fases:

**Secagem da madeira:** Ocorre a vaporização de toda água contida no interior da madeira (água livre, água de adesão e água de constituição). As temperaturas registradas ficam abaixo de 180°C. O calor necessário para manter a temperatura adequada deve ser fornecido ao processo mediante a queima de parte da madeira seja na própria câmara de combustão, como ocorre nos fornos mais rudimentares, ou em câmara de combustão própria nos fornos mais evoluídos.

**Pré-carbonização:** Ocorre entre 180° a 290°C. É um processo endotérmico onde se inicia a liberação dos voláteis. A madeira começa a se decompor, liberando monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido acético e metanol.

**Carbonização:** Ocorre entre 300° e 500°C. A reação torna-se exotérmica e autossustentável. O processo de decomposição térmica acelera, liberando mais calor, de modo que a temperatura não diminua enquanto a carbonização continuar. Ocorre grande eliminação de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e vapores condensáveis. A liberação de alcatrão e ácido pirolenhoso atinge o seu máximo, assim como a taxa de decomposição da madeira. O resíduo final dessa fase é o carvão vegetal, que quando aquecido próximo aos 500°C possui um baixo teor de carbono fixo.

**Gaseificação:** Acima de 500°C o carvão vegetal começa a se degradar termicamente iniciando a gaseificação.

Observa-se que a liberação de CO<sub>2</sub> e CO, notadamente os principais produtos gasosos da carbonização, se tornou significativa a partir dos 200°C, atingindo picos próximos a 22% e 12% respectivamente aos 300°C. A concentração de CO atingiu um novo pico aos 400°C, de menor magnitude, ultrapassando, contudo, a concentração de CO<sub>2</sub> nessa temperatura e estabilizou-se a partir de 500°C a patamares inferiores (OLIVEIRA, 2012).

**FIGURA 6** - Coleta de temperatura no forno com pirômetro.



**Fonte:** Arquivo Refinaria Guaxupé

### 2.3.3 - Queima dos gases

Os queimadores são construídos com alvenaria e possuem uma câmara de combustão retangular com entradas de oxigênio e chaminé cilíndrica com 12 metros de altura que são responsáveis pela exaustão dos gases.

Os gases provenientes do processo de carbonização são conduzidos por dutos que interligam os fornos até uma câmara de combustão, onde os mesmos entram em combustão com o auxílio de uma chama piloto, produzida com a queima de madeira e tiço (Fig.7).

São gastos diariamente  $8\text{m}^3$ , entre madeira e tiço (madeira que não completou o processo de carbonização) para manter o sistema em equilíbrio térmico o que permite a queima completa dos gases e a não liberação de fumaça nas chaminés. Esse consumo varia de acordo com o sincronismo das faces da carbonização. Fase endotérmica maior e fase exotérmica menor. O desafio é encontrar o equilíbrio ideal para que não seja utilizado combustíveis auxiliares nesse processo, mais como a empresa tem compromissos assumidos em contrato em fazer a produção limpa, torna-se necessário esse gasto de combustível para fazer a queima.

A unidade conta com duas plataformas de 15 fornos, assim cada queimador é responsável pela queima dos gases desse total, lembrando que como os ciclos de

carbonização e de resfriamento tem diferenças, normalmente são usados até no máximo 8 fornos por queimador.

Os gases gerados durante o processo de carbonização são substâncias combustíveis ricos em carbono e hidrogênio, que sob condições adequadas de temperatura e pressão são capazes de sofrer reações químicas na presença de oxigênio, liberando energia sob a forma de luz e calor. Na carbonização da madeira são gerados gases não condensáveis, sendo os principais CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (TACCINI, 2011). No caso de queima completa desses gases, as emissões seriam constituídas apenas de CO<sub>2</sub> e vapor de água. Segundo CARVALHO JUNIOR & MCQUAY (2007), a combustão completa ocorre quando o carbono presente no combustível é oxidado para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o hidrogênio para água (H<sub>2</sub>O) e o enxofre para dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Quando os produtos gerados são monóxidos, considera-se a combustão como incompleta.

Segundo os testes feitos por Cardoso (2010), a concentração de metano foram reduzidas a valores próximos à zero com a combustão dos gases pelo queimador, tendo uma redução de 96,95%. Isso mostra a eficiência e o poder oxidante que os queimadores, reduzindo na quase totalidade a emissão de um dos gases mais nocivos ao meio ambiente. Ainda dentro desse trabalho fica visível a importância para adicionalidade em projetos de créditos de carbono, pois apesar de a madeira utilizada no processo ser de reflorestamento, o que não contabiliza o CO<sub>2</sub> liberado, a redução da emissão de metano no processo permite a criação de projetos visando a créditos de carbono.

Os trabalhos de Cardoso (2010) mostraram ainda uma redução de 93,76% de monóxido de carbono enquanto os valores médios da concentração de dióxido de carbono sem combustão de gases foi de 4,11% e de 6,29% com combustão. Este aumento expressa as reações de oxidação ocorridas durante a combustão dos gases no queimador, ou seja, os gases CO, CH<sub>4</sub> e outros foram oxidados a CO<sub>2</sub>, água (H<sub>2</sub>O) e energia na forma de calor. Este aumento da concentração de dióxido de carbono demonstra indiretamente a eficiência do queimador para a redução de emissão dos poluentes mais nocivos, como principalmente a metano, uma vez que a CO<sub>2</sub> é o produto da oxidação deste gás.

**FIGURA 7** - Sistema de queimador de gases

Fonte: Autor

#### **2.3.4 – Resfriamento do forno**

Ao fim da carbonização todas as entradas de oxigênio e o registro de saída do forno são fechados, ficando assim o forno lacrado para evitar a entrada de oxigênio, o que permite seu resfriamento. O resfriamento é forçado com aplicação de barrelas (calda de Argila) lançada com o auxílio de um implemento agrupado a um trator para melhorar o resfriamento e vedação de trincas.

A água tem a função de fazer uma troca de calor com a superfície do forno acelerando seu resfriamento enquanto a argila faz a vedação de trinca que ocorre durante as fases do processo.

A temperatura de resfriamento é monitorada com o auxílio do pirômetro e quando chega ao ponto desejado o forno pode ser aberto para descarga do carvão.

#### **2.3.5 – Descarga de forno**

Identificado o resfriamento dos fornos através do monitoramento, são programados para descarga. As portas são destravadas, o forno é aberto para retirada do carvão.

São utilizados máquinas cabinadas com ar condicionado para fazer a descarga do carvão do forno até as caçambas ou pátio de estocagem (Fig.8). Em torno de 70% do carvão descarregado do forno vai diretamente para as caçambas, o restante passa por um processo de pré-separação no pátio onde são retirados os tiços (madeira que não completou seu processo total de carbonização) antes de ser colocado nas caçambas. Na parte superior das caçambas é colocada uma peneira separadora, que tem a função de dar qualidade e melhorar a granulométrica do carvão. O carvão deve ficar por um período de 48 horas no pátio de estocagem antes de ser enviado a granel em carreta para a usina.

**FIGURA 8** - Máquina com Pá para descarga de forno



Fonte: Autor

## **2.4 – COLETAS DOS DADOS DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO**

O trabalho usou dados coletados na empresa em períodos onde se operou em sistema com queima de gases (sem emissão dos gases) e sem queima de gases (com emissão dos gases) para comparar o desempenho dos processos. No período de desenvolvimento do trabalho a empresa trabalhou com parte da unidade com emissão de gases nas chaminés, sistema convencional.

O controle dos ciclos dos fornos foi feito por planilhas físicas e planilhas em Excel. (Fig.9) e um questionário foi usado com os funcionários e com a gerência de produção para obtenção de dados para o comparativo.

Nessas planilhas são preenchidos dados como espécie da madeira, volumes e horas do carregamento e do descarregamento dos fornos, temperados dos fornos nos estágios de carbonização e de resfriamento, horas iniciais e finais de cada etapa. Depois são lançadas em computar pelo apontador de produção, onde são feitos relatórios e gráficos com os números da produção e produtividade mensal.

**FIGURA 9** - Planilha eletrônica de ciclo de produção

Produção por forno (PREVISÃO):

LEGENDA	C	CARBONIZAÇÃO	D	DESCARGA
	R	RESFRIAMENTO	M	MANUTENÇÃO

S/ANO: mar/17		LÍDER DA PLANTA:																																
Nº AP.	FR nº	R	DIAS																															Nº Ciclos
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
			S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q
	1	P																																0
	1	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	3
	2	P																																0
	2	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	3
	3	P																																0
	3	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	3
	4	P																																0
	4	R	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	4
	5	P																																0
	5	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	3
	6	P																																0
	6	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	M	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	3
	7	P																																0
	7	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	R	3
	8	P																																0
	8	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	R	R	R	R	R	D	M	M	C	C	C	C	R	R	3	
	9	P																																0
	9	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	3	
	10	P																																0
	10	R	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	D	M	M	3
	11	P																																0
	11	R	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	4
	12	P																																0
	12	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	3
	13	P																																0
	13	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	3
	14	P																																0
	14	R	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	D	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	3
Novo	25	P																																0
Novo	25	R	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	3
	15	P																																0
	15	R	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	3
	16	P																																0
	16	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	3
	17	P																																0
	17	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	3
	18	P																																0
	18	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	3
	19	P																																0
	19	R	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	3
	20	P																																0
	20	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	3	
	21	P																																0
	21	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	3
	22	P																																0
	22	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	3
	23	P																																0
	23	R	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	3
	24	P																																0
	24	R	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	2
Novo	26	P																																0
Novo	26	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	3
Novo	27	P																																0
Novo	27	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	3
Novo	28	P																																0
Novo	28	R	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	3
Novo	29	P																																0
Novo	29	R	C	C	C	C	R	R	R	R	R	D	M	C	C	C	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	3
Novo	30	P																																0
Novo	30	R	C	C	C	R	R	R	R	D	C	C	C	C	R	R	R	R	R	R	R	R	D	C	C	C	C	C	R	R	R	R	R	2

Fonte: Arquivo Refinaria Guaxupé

Na planilha eletrônica de Excel é possível acompanhar o ciclo de produção de cada forno que são separação por plataformas, 1 e 2 com o seu queimador. Os fornos são numerados de 1 ao 30 e a unidade é dividida em duas partes. Na plataforma 1 os fornos trabalharam no sistema com a queima dos gases enquanto a plataforma 2 o sistema de

queima formado por dutos, queimador e chaminé, foram desligados e os fornos trabalharam em chaminés individuais convencionais.

Na figura 9, as células em vermelho com a letra C representam os dias em carbonização, as em azul com a letra R os dias em resfriamento, as células em verde com a letra D os fornos em Setup, carga de madeira ou descarga de carvão e M em caso de alguma manutenção. Os dados específicos com horas e volumes exatos informados ficam no banco de dados que vão gerar os relatórios finais de produção.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 – COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS**

Para analisar todo o processo de carbonização da unidade de produção da Empresa Refinaria Guaxupé de carvão ecológico Ltda, utilizou-se os resultados obtidos através do questionário e os dados de produção do período. Também foi feita uma revisão bibliográfica dos trabalhos relacionados à eficiência ecológica do sistema.

O trabalho de comparação, entre o sistema do forno de superfície com chaminé e sistema de produção de forno cilíndrico vertical, que são sistemas parecidos com os comparados nesse trabalho, constatou 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. Conseqüentemente ocorre uma redução da poluição gerada pelo processo de carbonização, contribuindo assim para a prevenção do meio ambiente. Além disso, pode-se destacar o maior aproveitamento de lenha, uma vez que aumenta o rendimento do carvão produzido (COLOMBO, 2006 apud, AMODEI, 2008).

Segundo Oliveira (2012), o queimador, contribui para o processo de carbonização, auxiliando na tiragem de gases do interior do forno para a fornalha pela pressão negativa gerada no sistema pela chaminé do queimador.

#### **3.2 – COMPARATIVO ESPECÍFICO ENTRE OS SISTEMAS**

Foi usada uma planilha para coletas de dados mais específicos do período analisado, dessa forma pode-se fazer um comparativo com resultados e percentuais (Fig.10).

**FIGURA 10** - Resultados obtidos no período

**Legenda:** >metros cúbicos (m<sup>3</sup>) >massa de água/massa de matéria seca x 100 (Kg base seca)  
>percentual (%)

<b>Resultados específicos do comparativo</b>						
<b>Fornos sem o uso do queimador de gases</b>		x	<b>Fornos com o uso do queimador de gases</b>		<b>Resultados</b>	<b>%</b>
Numero de fornos	15 fornos		Numero de fornos	15 fornos	Iguais	0%
Nº de tratamentos	43,90 Fornadas		Nº de tratamentos	47,82 fornadas	aumento de 3,92 fornadas	8,92%
Tempo médio de carbonização	86,4 horas		Tempo médio de carbonização	71,5 horas	redução de 14,9 horas de carbonização	20,80%
Tempo médio de resfriamento	135,6 horas		Tempo médio de resfriamento	130,4 horas	redução de 5,2 horas de resfriamento	3,98%
Tempo de Setup	24 horas		Tempo de Setup	24 horas	Iguais	0%
Tempo de ciclo	246,0 horas		Tempo de ciclo	225,9 horas	redução 20,1 horas de ciclo	8,89%
Volume de madeira utilizado	2195 m <sup>3</sup>		Volume de madeira utilizado	2391,07 m <sup>3</sup>	aumento de 196,07 m <sup>3</sup>	8,20%
Carvão produzido	1560,68 m <sup>3</sup>		Carvão produzido	1720,09 m <sup>3</sup>	aumento de 159,41 m <sup>3</sup>	9,26%
Volume de tiço produzido	150,5 m <sup>3</sup>		Volume de tiço produzido	172,15 m <sup>3</sup>	aumento de 21,65 m <sup>3</sup>	12,57%
Volume de carvão médio forno	35,55 m <sup>3</sup>		Volume de carvão médio forno	35,97 m <sup>3</sup>	aumento de 0,42 m <sup>3</sup>	1,16%
Índice de conversão madeira x carvão (produtividade)	1,31		Índice de conversão madeira x carvão (produtividade)	1,29	redução de 0,02	1,55%

**Fonte:** Autor

Analisando os dados obtidos na figura 10, pode-se verificar várias vantagens em se utilizar o sistema com queima de gases.

Resumo dos resultados:

- 1<sup>a</sup> - Diminuição no ciclo de produção das fornadas.
- 2<sup>a</sup> - Melhora na conversão madeira x carvão (produtividade)
- 3<sup>a</sup> - Aumento do tiço (madeira quase carvão)
- 4<sup>a</sup> - Aumento da produção por forno.

Isso é possível graças ao fluxo de retirada dos gases que o sistema de queima produz nos fornos que estão ligados ao queimador. Acelerando o processo e mostrando que o sistema além de sua eficiência ecológica, também gera uma eficiência produtiva.

Foi observada uma diminuição importante nas horas de carbonização, conforme Figura 11, o que refletiu no tempo de resfriamento também, devido a um período menor de aquecimento do forno na fase de carbonização, contribuiu para um bom resfriamento na fase seguinte.

Segundo informações da gerencia de produção da empresa, a quantidade de tiço (madeira quase carvão) sem diminuir os rendimentos dos fornos, tem efeitos positivos na qualidade do carvão, além do tiço ser reaproveitado para o processo de produção das próximas fornadas ou combustão no queimador.

O ciclo de produção dos fornos tem efeito principal na produção geral de uma planta de carbonização, assim o sistema de queima de gases atua como uma ferramenta importante nessa função de dar velocidade ao processo. Como podemos ver o exemplo abaixo:

Exemplo do planejamento mensal de produção dos dois sistemas:

- Planejamento de produção mensal no sistema sem queimador

$$30 \text{ dias} / 10,25 \text{ ciclo do forno} = 2,92 \text{ fornadas mês} \times 30 \text{ N}^\circ \text{ de fornos} = 87,6 \text{ fornadas} \\ \times 35,55 \text{ m}^3 \text{ volume por forno} = 3.114,18 \text{ m}^3.$$

- Planejamento de produção mensal no sistema com queimador

$$30 \text{ dias} / 9,41 \text{ ciclo do forno} = 3,18 \text{ fornadas mês} \times 30 \text{ N}^\circ \text{ de fornos} = 95,4 \text{ fornadas} \times \\ 35,97 \text{ m}^3 \text{ volume por forno} = 3.431,53 \text{ m}^3.$$

Aumento de 317,35 m<sup>3</sup> de carvão mês. Um percentual de 10,1 % a mais de produção para o sistema com queima dos gases.

Os dados para o exemplo do planejamento foram extraídos da Figura 11. Com esse exemplo podemos observar a influencia positiva do sistema de queima no ciclo de produção de uma planta.

A vazão da carbonização com combustão dos gases foi devido a um maior gradiente de temperatura entre a fornalha e o ambiente externo, observando que sua variação de temperatura não tem influência no processo, visto que a amplitude é baixa enquanto na fornalha (Queimador) a amplitude de variação de temperatura chega a 730°C. Comparando-se os processos com e sem combustão dos gases apresenta uma temperatura máxima na fornalha de 120°C contra 25°C do ambiente externo. Já no processo com combustão dos gases a temperatura máxima da fornalha atinge 850°C, contra os mesmos 25°C do ambiente, o que pode explicar esse aumento na vazão, pois durante a queima faz-se necessário a

abertura nas laterais da fornalha para admissão do ar atmosférico para fornecer oxigênio para as reações de oxidação, e conseqüentemente o volume de gases é aumentado proporcional a quantidade de ar atmosférico admitido (CARDOSO, 2010).

### 3.2 – ANÁLISES QUÍMICAS DO CARVÃO

Quanto às análises químicas do carvão, no período não foi detectado nenhuma mudança físico-química. Os resultados das análises feitas no recebimento do carvão na usina se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos nas especificações técnicas.

Características Especificadas para o recebimento do carvão na Usina:

- Granulométrica

Faixa granulométrica: 0 – 350 mm

Finos: Máximo 15% < 12,7 mm (desejável)

Aceitável: até 20%

Over size: Máximo 5% > 350 mm

- Densidade

Maior que 180 Kg/m<sup>3</sup>

Desejável: 210 Kg/m<sup>3</sup>

Menor que 280 Kg/m<sup>3</sup>

- Umidade

Desejável: Menor de que 5%

Máximo: 9%

Entre 9% e 14%

Acima de 14% inaceitável.

- Temperatura da carga

Acima de 35°C – não é permitido a descarga

Até 35°C – poderá ser recebido sem restrição

- Tiço

Zero tiço: comprimento > 200 mm ou diâmetro > 80 mm

Aceitável até 3% comprimento < 200 mm ou diâmetro < 80 mm

- Carbono Fixo (% de carbono no carvão)

Desejável que a média da amostra esteja entre 75% e 82%

- Cinza

Desejável menor do que 1%

- Voláteis

Desejável menor que 25%

Fósforo (P)

Desejável menor que 260 ppm

O teor de materiais voláteis ficou na faixa de 18 a 25%, enquanto o carbono fixo foi de 75 a 82%. O que segundo Santos (2008), a faixa desejada de carbono fixo no carvão para uso siderúrgico está compreendida entre 75 e 80%.

### 3.3 – ANÁLISE DE CUSTO

O sistema de queima com os dutos e queimador tem um custo maior de implantação que um sistema de fornos retangulares com chaminés convencionais sem queimadores. Os custos de operação e manutenção do queimador também devem ser levados em consideração para a análise, por representarem um custo adicional mensal para a empresa.

Hoje a empresa vende seu carvão, por se tratar de um produto ecologicamente correto, por um valor cerca de 30% acima do preço do carvão produzido em sistemas convencionais sem a queima dos gases. Isso é possível, mas é bom salientar que depende muito da cultura sustentável da empresa que utiliza o carvão como sua matéria prima e que está disposta a pagar por esse diferencial.

Valores específicos dos custos dos fornos e sistema de queima não foram liberados pela empresa por se tratar de uma tecnológica nova. Os preços de venda do produto, também são mantidos em sigilo contratual.

Trabalho de Morello, 2009, examinou as decisões tecnológicas referentes ao suprimento de termo-redutor foram historicamente tomadas pela siderurgia mineira, em uma tentativa de trazer à tona elementos que auxiliem a compreensão das alternativas que se abrem, na atualidade, para construção de um modelo de siderurgia de baixa de emissão de gases-estufas. A transição para o aproveitamento máximo da biomassa pressupõe investimentos em pesquisa, desenvolvimento e treinamento dos trabalhadores que, da mesma maneira, competem com as aplicações de capital comumente acessadas pelas siderúrgicas.

A preocupação com o clima deu início a uma série de reuniões de ordem mundial com o objetivo de discutir soluções para mitigação do avanço do aquecimento global. As respostas políticas internacionais só se tornaram concretas em 1992, pelas Nações Unidas,

através da adoção de um tratado internacional, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas – CQNUMC (FRANGETTO E GAZANI, 2002). O Protocolo de Quioto estabelece metas de redução das emissões dos gases de efeitos estufa (GEE) em 5,2% com relação aos níveis verificados em 1990, no período entre 2008 e 2012. O compromisso dessa redução foi atribuído aos países desenvolvidos, considerados os principais poluidores responsáveis pelos elevados níveis atuais, resultado de mais de 150 anos de atividades industriais (UNCCC, 2012).

### **3.4 – EFICIÊNCIA ECOLÓGICA**

Os queimadores ou fornalhas acopladas a fornos de carbonização têm o objetivo de incinerar os gases gerados durante o processo, transformando a poluição em energia na forma de calor. Estes equipamentos conferem as unidades de produção de carvão vegetal um aspecto limpo (OLIVEIRA, 2012).

Testes feitos por Cardoso (2010) mostraram que teor de umidade médio dos gases sem e com combustão dos gases pela fornalha foram de 14% e 20% respectivamente, tendo essa diferença significativa entre si, mostrando com isso um aumento de vapor de água formado quando se procedeu à combustão, o que pode ser explicado pelo fato de quando ocorre a combustão completa de um material, espere-se que sejam liberados CO<sub>2</sub>, vapor de água e energia. Esse dado é, portanto, um indicativo da eficiência da fornalha para queima dos gases da carbonização.

Ainda segundo Cardoso (2010), as concentrações de metano foram reduzidas a valores próximos a zero com a combustão dos gases pela fornalha, passando de 0,293% para 0,015%, tendo uma redução de 96,95%. Esse fato demonstra a eficiência de poder oxidativo do sistema, reduzindo quase a totalidade da emissão de um dos gases mais nocivos ao meio ambiente.

Durante a queima dos gases no interior da fornalha foram obtidas temperaturas variando de 650 a 1150°C, sendo essa faixa de temperatura suficiente para promover a combustão completa do alcatrão, do licor pirolenhoso, dos fenóis e dos gases CO e CH<sub>4</sub> transformando-os em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, conforme atestado por (CARDOSO, 2010).

Os estudos feitos por CARDOSO, 2010 mostraram que o poder calorífico dos gases da carbonização sem combustão pela fornalha atingiu valor máximo de 65 Kcal/m<sup>3</sup>, e

quando a fornalha foi utilizada o poder calorífico foi reduzido a praticamente zero, mostrando que os gases foram queimados, liberando essa energia na forma de calor.

#### **4 CONCLUSÕES**

O sistema com queima dos gases se mostrou mais produtivo em relação ao sistema sem a queima. O efeito exaustão produzido pela chaminé do queimador, acelera o processo

de carbonização, trazendo ganhos no ciclo total dos fornos. O que proporcionou um volume maior de carvão produzido em um mesmo intervalo de tempo.

Os valores dos gases causadores do efeito estufa são reduzidos a números próximos a zero com o uso do sistema queimador/fornalha. Comprovando sua eficiência ecológica o que agrega valor ao produto.

A utilização do sistema de queima de gases não alterou as estruturas físico-químicas em relação ao sistema convencional de produção.

O carvão vegetal produzido na unidade Fazenda Guaxupé, tem qualidade e atende as especificações técnicas da usina siderúrgica para a produção do Silício Metálico.

Mesmo com um custo maior de implantação e de operação, as vantagens produtivas, financeiras e ecológicas viabilizam o sistema com queima de gases. O trabalho mostra que o sistema é eficiente e sustentável, pois atua nos três pilares da sustentabilidade. O Social, que promove o bem estar para o trabalhador e a comunidade ao seu redor, o ecológico, eliminando vários poluentes e por fim, o financeiro, agregando valor a um produto que antes era visto como o grande vilão da poluição e das condições análogas à escravidão no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMODEI, J. B. **Avaliação do processo de carbonização da empresa Saint Gobain Ltda**, UFRRJ, Seropédica - RJ, 2008. 13p.

ANDRADE, H. B. Avaliação de espécies e procedência de Eucalytus nas Regiões Norte e Nordeste do estado de Minas Gerais. 1991. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras – MG.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, AMS. Números do setor . Belo Horizonte, 2009. Disponível em: < HTTP:// www. Silviminas.com.br>. Acesso em 15 de agosto 2017.

CARDOSO, M.T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira**. 2010. 06, 48, 49, 50 e 51p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa – MG. 2010.

CARVALHO JUNIOR, J. A.; MCQUAY, M. Q. **Princípios de combustão aplicados**. Florianópolis – SC, 2007, 176p.

FRANGETTO, F. W.; GAZANI, F.R. **Viabilidade jurídica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil – O Protocolo de Quioto e a cooperação internacional**. São Paulo: Peiropolis; Brasília, DF: IIEB – Instituto Internacional de Educação no Brasil, 2002. 477p.

MORELLO, T. F. **Carvão vegetal e siderurgia: de elo perdido a solução para um mundo pós-Kyoto** – Universidade de São Paulo – SP, 2009.

NETO. J. D. **Sustentabilidade empresarial e mercado verde**. Viçosa – MG: Aprenda Fácil, 2016. 99p.

OLIVEIRA, A. C. M. **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal**, 2012. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2012.

PIMENTA, A. S. E BARCELLOS, D. C. 2000. **Como produzir carvão churrasco**. Viçosa, CPT. 76p.

QUADROS, L. Q. Sistema Brasileiro de Resposta Técnica, MINISTÉRIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <HTTP://WWW.vitalflora.org.br/carvão.htm>, Acessado em 25 de julho de 2017.

RAAD, T.J. (2000). **Instrumentação dos fornos industriais da V & M Florestal In: Melhoria continua da carbonização da madeira**. Seminário interno Vallourec & Mannesmann Tubes. Paraopeba – MG. 32p.

SANTOS, M.A. S. **Parâmetros da qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno**. In.: FORUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1 , 2008, Belo Horizonte, Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2018.

SOARES, F. S. **Produtividade de plantios florestais de eucalipto sob diferentes materiais genéticos e espaçamentos no município de Morada Nova de Minas – MG**, UFPR, Paraná, 1p, 2015.

STAPE, J.L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estado de espaçamento florestal**. 1995, 104p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

TACCINI, M. M. **Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases do efeito estufa na produção de carvão vegetal**. 2011. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2011.

VALE, A.T.; GENTIL, L. V. **Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais**. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro – ES: 2008, p. 196-246.

<[http://cdm.unfccc.int/filestorage/CDMWF\\_AM\\_ZBFK5T27N1DE9P6WT0J7DUPLEQ1VLM/EB44\\_repan19\\_AMS\\_III.K\\_ver04.pdf?t=RWN8MTI5MTA2MDIwNC45Mg==|ntXa6k suwIOiWIEax4bxh\\_mCQjM=>](http://cdm.unfccc.int/filestorage/CDMWF_AM_ZBFK5T27N1DE9P6WT0J7DUPLEQ1VLM/EB44_repan19_AMS_III.K_ver04.pdf?t=RWN8MTI5MTA2MDIwNC45Mg==|ntXa6k suwIOiWIEax4bxh_mCQjM=>). Acesso em: 30 de Outubro 2017.

<http://www.fazendaguaxupe.com.br/> Acesso em: 20 de maio de 2017.

[http://iba.org/images/shared/iba\\_2014\\_pt.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2014_pt.pdf)

<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/11/carvao-mineral> Acesso em: 05 de julho de 2017.