

ROSALVO MACIEL GUIMARÃES NETO

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM FORNO CONTAINER EM
ESCALA INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

ROSALVO MACIEL GUIMARÃES NETO

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM FORNO CONTAINER EM
ESCALA INDUSTRIAL

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2005

Prof. Benedito Rocha Vital
(conselheiro)

Prof. José de Castro Silva
(conselheiro)

Prof. Márcio Lopes da Silva

Prof. Luciano José Minetti

Prof. Alexandre Santos Pimenta
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Guimarães Neto, Rosalvo Maciel, 1974-
G963a Avaliação técnica e econômica de um forno container
2005 em escala industrial / Rosalvo Maciel Guimarães Neto.
– Viçosa : UFV, 2005.
xi, 51f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Alexandre Santos Pimenta.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 46-49.

1. Fornos de carbonização da madeira - Avaliação.
2. Fornos de carbonização da madeira - Aspectos
econômicos. 3. Carvão vegetal - Produção. 4. Energia da
biomassa. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt.CDD. 634.983982

A Jesus, razão da minha vida;
Aos meus pais, Herato e Ana;
Aos meus irmãos, Paulo, Suzana, Flávia e Celma;
A todos os meus amigos;
Ao prof. José de Castro Silva,
A todos que amo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela formação científica.

À CIAFAL (Comércio e Indústria de Artefatos de Ferro e Aço Ltda), pelos dados de pesquisa.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Alexandre Santos Pimenta, pela orientação e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Benedito Rocha Vital e José de Castro Silva, pelos conselhos e orientações.

Aos demais componentes da banca examinadora, professor Márcio Lopes da Silva e professor Luciano Minette, pelas contribuições e sugestões.

Aos meus pais, Herato Costa Requião e Ana Maria Soares Requião, pelo amor e compreensão.

Aos meus irmãos, Gênison Soares Requião, Marta Silvana Soares Requião França, meus cunhados, Patrícia Requião e Adélio da Hora França, e aos meus sobrinhos, Dawisson Requião, Ana Julia Requião, Rebeca Requião França e Marcos Filipe Requião França.

Às amigas de “sofrimento”, Solange de Oliveira Araújo e Tatiana Paula Marques de Arruda.

As minhas amigas, Gislane Santos Cardoso, Ediméia Aparecida Santos Cardoso, Maria Betânia Santos Cardoso, Maria Selenê Santos Cardoso, Maria Amélia Santos Cardoso e ao meu saudoso amigo, Márcio Santos Cardoso (em memória).

Aos amigos de todos os dias: Márcia Ribeiro Irala, Gustavo Adolfo Irala Figueiredo, Jamile, Cláudia Aparecida Pontes, Edivânia Rosa Evangelista, Edenilson Cremonine Roquete, Jeane de Fátima Cunha, Pollyanna Oliveira Alves, Leandro Santana, Carla Priscila Cabral, Wagner Patrício, Angélica de Cássia, Náisy Silva Soares, Janaina Marcon Botelho, Fabiano Cupertino Botelho; Davi Teodoro, Anderson, Alex Fabiane Pereira, Cláudia Gomes da Silva Pereira, Lucas Pires, Samuel Godoi, Sebastião Godoi (Tião), Ritinha, Aderlan Gomes, Eraclides Maria Ferreira, Ana Paula Granato, Bruno R. da Mata, Evandro Mileno, Prof. James Jakson Griffith, Cornélia E. Abreu Reichart, Renato Abreu.

Aos irmãos de oração e jejum, Celma Fernandes, Flávia Balbino, Paulo Sérgio da Silva, Suzana Otomar da Silva, Éderson Carlos da Paixão e Ana Paula Bernardo da Consolação.

Aos irmãos da igreja de Viçosa, Neuza Esteves, Antônio E. E. de Souza (Tunico), Elizabete Zapalla, Maria do Carmo V. Evangelho, José Adelsio Evangelho, Tereza Candido, Reginaldo L. dos Reis, Vanilda Gonçalves, Bárbara Pascini, Bethânia Pascini, Isac J. Brandão, Cristiane Botelho, Silaine Vieira, Antônio Zapalla, Márcio Fernandes, Sueli Fernandes, Lucas Cândido, Maria das Graças F. de Paula e outros que contribuíram de várias formas.

BIOGRAFIA

ROSALVO MACIEL GUIMARÃES NETO, filho de Herato Costa Requião e Ana Maria Soares Requião, nasceu em 05 de setembro de 1974, na cidade de Nova Canaã, Bahia.

Em maio de 2002, concluiu o curso de Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, com concentração em Tecnologia da Madeira, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

RESUMO	Vi
ABSTRACT	Viii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	06
2.1 A indústria siderúrgica a carvão vegetal	06
2.2 Carvão como fonte energética	06
2.3. Fornos de alvenaria	07
2.3.1. Fornos retangulares de alvenaria	09
2.4 Forno container	09
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Forno container industrial	11
3.1.1 Poço Isolante	11
3.1.2 Container metálico	12
3.1.3 Secador de lenha	13
3.1.4 Sistema de movimentação, carga e descarga.	13
3.1.5 Queimador de fumaça	14
3.1.6 Medição da temperatura	15
3.1.7 Determinação dos parâmetros da lenha	15
3.1.8 Análise química imediata do carvão	16
3.1.9 Análise estatística	17
3.2 Forno retangular de quarenta estéreos	17
3.3 Análise financeira e econômica de projetos que utilizam fornos container industrial e retangular de quarenta estéreos.	18
3.3.1 Lucratividade	18
3.3.2 Rentabilidade	19
3.3.3 Prazo de retorno do investimento(PRI)	19
3.3.4 Ponto de equilíbrio	19
3.3.5 Valor presente líquido – VPL	20
3.3.6 Benefício (custo) periódico equivalente – B(C)PE	20
3.3.7 Taxa Interna de retorno – TIR	21
3.3.8 Razão benefício custo B/C	21
3.4 Custos envolvidos nos projetos dos fornos retangulares de quarenta estéreos e container industrial	22
3.4.1 Custo de implantação	22
3.4.2 Capital de giro	22
3.4.3 Custos fixos	23
3.4.4 Custos variáveis	24
3.4.4.1 Custos com manutenção	24
3.4.4.2 Custos com operação	24
3.4.4.3 Custos com eletricidade	24
3.4.4.4 Custos com a lenha	24
3.4.4.5 Custos com encargos sociais	25

3.4.4.6 Custos com a mão-de-obra	25
3.4.4.7 Custo de comercialização	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Forno container industrial	29
4.2 Avaliação econômica e financeira	38
4.2.1 Indicadores de desempenho financeiro	39
4.2.2 Indicadores de desempenho econômico	41
5. RESUMO E CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICE	50

RESUMO

NETO, Rosalvo Maciel Guimarães, M. S., Universidade Federal de Viçosa, 22 de fevereiro 2005. **Avaliação Técnica e Econômica de um Forno Container em Escala Industrial**. Orientador: Alexandre Santos Pimenta. Conselheiros: Benedito Rocha Vital e José de Castro Silva.

Neste trabalho, foi feita a avaliação técnica e econômica de um forno, tipo container, para produção de carvão vegetal. O conjunto avaliado é constituído das seguintes partes: quatro poços isolantes, doze containeres metálicos, sistema de movimentação de carga e descarga e trolley elétricos, queimador de fumaça e secador de lenha. Os fornos foram equipados com termopares, o que permitiu a elaboração do perfil térmico da carbonização. Foram feitas vinte e sete carbonizações com lenha de *Eucalyptus* sp. (diâmetro médio de 15 cm e comprimento médio de 2,4 m, umidade média de 30% e densidade básica média de 0,52 g/cm³). A avaliação da carbonização envolvem os seguintes parâmetros, taxa média de aquecimento, temperatura final média de carbonização e tempo médio de carbonização, do carvão vegetal produzido. Foram avaliados teor de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e rendimento gravimétrico. Para a análise dos dados foi construída uma matriz de correlação, com auxílio do programa STATISTICA 6.0. Os parâmetros médios foram: aquecimento de 30°C/h, com temperatura final média de carbonização de 393°C, em aproximadamente, 17,6 horas e o percentual de tiços gerados foi de 11,9 %. Os teores médios de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas foram, respectivamente, de 72, 27 e 1%. Foram obtidos rendimentos gravimétricos em carvão na faixa de 37 a 42 %. Um modelo matemático linear foi ajustado para acompanhar a evolução média da temperatura. Verificou-se que para obter uma lucratividade de 20% ao ano deve-se produzir 21.783,43 mdc de carvão vegetal no forno container e 8.480,52 mdc no forno retangular de 40 st. O prazo de retorno de investimento num forno retangular de 40 st e num forno container industrial foi respectivamente, de 11 e 32 meses. A rentabilidade anual do forno retangular de 40 st foi de 111,33% e do container 36,94%. A TIR encontrada para o forno

retangular de 40 st foi de 97% e do container de 47,76%; o VPL, B(C)PE e B/C para o forno container foram de 11.352.379,52, 1.847.547,48 e 1,33 e para o forno retangular de 40 st foram 9.421.034,99, 1.533.230,05 e 1,32. Os indicadores econômicos demonstraram melhores resultados para o forno container industrial, quando avaliados no horizonte de planejamento de dez anos. Após a análise dos indicadores econômicos e financeiros, foi possível concluir que é viável a tecnologia para a produção do carvão vegetal, utilizando o forno container industrial ou o forno retangular de 40 st.

ABSTRACT

NETO, Rosalvo Maciel Guimarães, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February 22, 2005. **Technical and economical evaluation of a Container kiln for industrial production.** Advisor: Alexandre Santos Pimenta. Committee members: Benedito Rocha Vital and José de Castro Silva.

This study evaluated a charcoal oven of the container type from technical and economical points of view. The studied equipment consisted of the following parts: four isolating wells, twelve metal containers, a loading and unloading movement system and electric trollies, a smoke burner and a wood drier. The ovens were equipped with thermocouple, which allowed an elaboration of the thermal profile of the carbonization. Twenty-seven carbonizations were carried out with *Eucalyptus* sp. wood (means: diameter 15 cm, length 2.4 m, moisture 30%, and basic density 0.52 g/cm³). The evaluation of the carbonization involves the parameters mean heating rate, mean final temperature and mean time of carbonization. The contents of fixed carbon, volatile materials, ashes and gravimetric yield of the produced charcoal were also determined. A matrix of correlation was constructed for the data analysis with software STATISTICA 6.0. The obtained mean values for the parameter were 30°C/h for heating, a final mean carbonization temperature of 393°C, lasting approximately 17.6 hours, and a percentage 11,9% of wood not carbonized. The mean contents of fixed carbon, volatile materials and ashes were, respectively, 72, 27 and 1%. Gravimetric yields for carbon between 37 and 42 % were obtained. A linear mathematical model was adjusted to evaluate the mean temperature evolution. To obtain a profit of 20% a year 21.783.43 mdc (cubical meteres of charcoal) must be produced in the oven container and 8.480.52 mdc (cubical meteres of charcoal) in the rectangular 40 stere oven. The period for investment return with the rectangular 40 stere or an industrial container oven were, respectively, 11 and 32 months. The annual output of the rectangular 40 stere kiln was 111.33% and of the container 36.94%. We

observed an internal rate of return of 97% for the rectangular 40 stere kiln and of 47.76% for the container. The present net value, equivalent periodic benefit-cost ratio and benefit-cost ratio of the oven container were 11.352.379.52, 1.847.547.48, and 1.33 and for the rectangular 40 stere kiln 9.421.034.99, 1.533.230.05 and 1.32, respectively. The economical indicators demonstrated best results for the industrial container oven when evaluated on a ten-year-plan basis. After the analysis of the economical and financial indicators it was possible to draw the conclusion that charcoal production is feasible when using industrial container as well as rectangular 40 stere kilns.

1. INTRODUÇÃO

O carvão vegetal é uma fonte energética de grande importância no Brasil, não somente por ser renovável, mas também pela sua importância histórica e econômica no País. O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal; o consumo total em 2003 chegou a 29.202 milhões de mdc (metro cúbico de carvão) (SILVIMINAS, 2004). Este insumo energético é utilizado, em grande parte, pelo segmento siderúrgico na produção de ferro-gusa, totalizando um consumo de 23.608 milhões de mdc, no ano de 2003 (Quadro1).

Quadro 1 – Consumo de carvão na produção de ferro gusa no Brasil (1000 mdc – metros cúbicos de carvão), para o período de 2000 a 2003.

Ano	Usinas Integradas	Produtores independentes	Total
2000	3.750	16.400	20.150
2001	3.900	17.580	21.480
2002	3.681	18.030	21.711
2003	3.383	20.220	23.603

Fonte: SILVIMINAS, 2003.

O Estado de Minas Gerais tem, hoje, o maior parque siderúrgico a carvão vegetal do mundo e destacou-se como o maior produtor desse insumo energético, de 20.772.240 milhões de mdc, no ano de 2003. Nesse ano, o consumo foi de 19.470 mil mdc, correspondendo a 66,7% do total produzido (Quadro2).

Quadro 2 – Consumo de carvão vegetal por estado (1000 mdc – metros cúbicos de carvão), ano 2000-2003.

Estados	2000		2001		2002		2003	
	Consumo	%	Consumo	%	Consumo	%	Consumo	%
MG	15.880	62.5	17.120	65.2	17.214	64.2	19.470	66.7
SP	800	3.2	760	2.9	890	3.3	890	3.0
RJ	540	2.1	365	1.4	333	1.2	402	1.4
ES	1.150	4.5	1.100	1.8	1.092	4.1	1.300	4.5
BA	650	2.6	470	1.2	613	2.3	630	2.2
MS	440	1.7	315	1.1	328	1.2	340	1.2
MA/PA	4.000	15.8	5.000	19.1	5.650	21.1	5.470	18.7
Outros	1.940	7.6	1.090	4.1	700	2.6	700	2.4
TOTAL	25.400	100	26.220	100	26.820	100	29.202	100.0

Fonte: SILVIMINAS, 2003.

O setor siderúrgico é importante para a economia brasileira, porque é capaz de gerar 100.000 empregos diretos, dos quais 45.630 são oriundos das plantações florestais, 50.950 da carbonização de madeira e 4.000 da produção de lenha; além disso, contabilizam-se 394.300 empregos indiretos, correspondendo 56,71% do total de empregos gerados pelo setor florestal (Quadro 3).

Quadro 3 – Mão-de-obra empregada pelo setor de base florestal no Estado de Minas Gerais.

Segmento/Atividade	Número de Empregos			Total	%
	Diretos ⁽¹⁾	Indiretos ⁽²⁾	Efeito – Renda ⁽³⁾		
Setor Florestal	100.580	394.300	237.542	732.422	56.71
Plantações Florestais	45.630	182.500			
Carbonização de Madeira	50.950	203.800			
Madeira Combustível (lenha)	4.000	8.000			
Siderurgia	29.838 ⁽⁴⁾	119.272	244.540	393.650	30.48
Ferro Gusa	12.800	51.200			
Ferroligas	8.970	35.800			
Celulose e Papel	3.900	19.500	23.000	46.400	3.59
Madeira e Mobiliário	15.080	60.320	43.732	119.132	9.22
Painéis de Madeira	1.500	6.000			
Madeira Processada	13.580	54.320			
Total	149.398	593.392	548.814	1.291.604	100

Fonte: SILVIMINAS, 2004.

1) Na atividade; 2) Na cadeia produtiva; 3) Estimado com base no Modelo de Geração de emprego (MGE), elaborado pelo BNDES (refere-se à transformação da renda dos trabalhadores e empresários de toda cadeia produtiva em consumo de outros setores); 4) nas usinas.

O uso de carvão vegetal como redutor do minério de ferro no Brasil data de 1587, no período colonial, em fundições artesanais, que utilizavam forjas catalãs para produzir ferramentas de uso agrícola, cravos, ferraduras e utensílios (MATARELLI et al., 2001).

O carvão possui duas funções no processo siderúrgico: agente redutor nas reações termoquímicas com o minério de ferro e fornecimento de energia para liquefazê-lo. Para cada tonelada de aço produzida, são consumidos três metros cúbicos de carvão vegetal (COTTA, 1996).

A carbonização da lenha é, atualmente, praticada, de forma tradicional, em fornos de alvenaria, com ciclos de aquecimento e resfriamento, que duram de seis até dez dias. Os fornos de alvenaria de superfície, de forma cilíndrico-

esférica, apresentam de quatro a oito metros de diâmetro, quatro a seis chaminés ou somente uma, com tiragem central, operando com rendimento gravimétrico entre 30 e 32% (BASTOS FILHO, 1986). O forno de cinco metros de diâmetro, também conhecido como forno padrão, produz, em média, 20 mdc por "corrida", a partir de uma carga de 36 estéreos de lenha, levando, aproximadamente de 10 a 12 dias para uma operação completa (carga, esfriamento e descarga): portanto, este forno pode dar de 2,5 a três corridas por mês (VALENTE, 1986). A maioria das empresas produtoras de carvão vegetal opera, hoje, com esse tipo de forno ou semelhante a ele, com 5,3 metros de diâmetro. São esses os fornos que mais se adaptaram às condições das empresas, respondendo com melhor produtividade, além de facilitar o acoplamento de unidades recuperadoras de gases.

Os fornos de alvenaria retangulares, equipados com sistemas de condensação de vapores e recuperadores de alcatrão, com carga e descarga mecanizada, apresentam rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, de 25 a 35%, em média, e são os mais avançados em uso, atualmente, no país (ZUCHI, 2001). Nogueira, citado por ZUCHI (2001), ao propor uma melhoria no processo de carbonização dos fornos retangulares, admite que é possível elevar o rendimento de 35% para 43%, com redução do gradiente térmico durante a carbonização, através da tiragem forçada dos gases e posicionando, adequadamente, os tatus e as chaminés, interligados a canaletas que fazem a tiragem dos gases provenientes da carbonização.

Outras pesquisas foram realizadas com o intuito de obter fornos que produzissem carvão vegetal, semelhante aos dos sistemas tradicionais de alvenaria. FERREIRA (1988) avaliou um forno, tipo container, com capacidade de 0,4 st de lenha e analisou seu funcionamento. Os resultados mostraram a viabilidade do sistema, com rendimento gravimétrico médio de 34% e com flexibilidade operacional para trabalhar em condições variadas de temperatura máxima e de velocidade de aquecimento, permitindo combinações desejadas. Os perfis térmicos mostraram que é possível trabalhar com temperaturas próximas entre a cúpula e a base do container. Neste estudo, no entanto, não se conseguiu dominar, perfeitamente, a marcha das temperaturas.

Foi a partir do ano de 2000 que se ampliaram os estudos com protótipos de fornos tipo container, instalados nas empresas (V&M do Brasil e na RIMA Industrial) e na UFV, pelo Departamento de Engenharia Florestal. Os estudos demonstraram que o forno tipo container apresenta vantagens, tais como: elevada produtividade, durabilidade, rápido resfriamento e, ainda, carga e descarga, que podem ser mecanizadas. Reuniram-se todas as vantagens de produção de carvão vegetal pelos fornos convencionais de alvenaria e pelos retangulares.

BARCELLOS (2002) avaliou um forno de ciclo semicontínuo, tipo container, para produção de carvão vegetal, em conjunto com uma fornalha celular, utilizada para queima dos gases poluentes. O carvão vegetal apresentou propriedades similares aos dos sistemas tradicionais, como baixos teores de cinzas. O processo de carbonização apresentou rendimento, em base seca, de 37% e uma equação matemática para acompanhar a temperatura de carbonização.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o desempenho de uma instalação industrial para produção de carvão vegetal, em fornos tipo container, além da análise econômica e financeira.

Como objetivos específicos, procura-se:

- avaliar o desempenho do forno tipo container, com capacidade individual para 8 st de lenha, obtendo-se os parâmetros operacionais na carbonização (taxa de aquecimento, temperatura final média e tempo de carbonização); análise química imediata do carvão (teor de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas), rendimento gravimétrico e perfil térmico do forno.
- estimar os principais indicadores de desempenho econômico e financeiro de dois diferentes projetos: um, com cem fornos, tipo container industrial e, outro, com cem fornos retangular de 40 st.
- realizar a viabilidade econômica e financeira desses dois tipos de projetos, por meio dos indicadores de desempenho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A indústria siderúrgica a carvão vegetal

No Brasil, a industrialização do ferro teve início em 1587, em São Paulo, com Afonso Sardinha, que utilizava forjas catalãs. Várias dessas forjas foram instaladas em São Paulo e Minas Gerais, no fim do século XVI e durante todo o século XVIII. Entre 1700 e 1756, nas missões jesuítas no Rio Grande do Sul, as forjas catalãs também foram usadas para fabricar cravos, ferraduras e utensílios.

No início da década de 1970, intensificou-se a construção de pequenos alto-fornos em Minas Gerais, em função da expansão da siderurgia mundial. O lingotamento, tipo carrossel, gerou o ferro-gusa sólido, um produto com dimensões mais adequadas ao manuseio e transporte, consolidando o setor não integrado de gusa no país. De 1989 a 1992, período em que o Brasil viveu uma crise recessiva, a produção e as vendas de ferro-gusa caíram a uma taxa média de 10% ao ano; as vendas internas, no entanto, voltaram a se estabilizar de 1997 a 2000 e as exportações cresceram (MATARELLI et al., 2001).

De acordo com a INFOENER (2004), o Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal. Os setores industriais de ferro-gusa, aço e ferro-ligas consomem cerca de 85% da produção nacional de carvão vegetal.

Segundo o IBS (2003), a produção total dos produtos siderúrgicos do Brasil foi de 80,186 milhões de toneladas, em 2001.

2.2 Carvão como fonte energética

A carbonização consiste em aquecer a biomassa lenhosa em ambientes pobres em oxigênio, obtendo-se carvão vegetal e outra fração, constituída de vapores e gases (alcatrão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis etc.). Integrada ao estágio atual do planeta, essa rota é praticamente isenta de enxofre em seus componentes, evitando, ainda, as emissões de compostos formadores de chuva ácida (SO₂) (SAMPAIO e MELLO, 2001).

2.3 Fornos de alvenaria

Os fornos de alvenaria são, atualmente, os mais usados na transformação de lenha em carvão vegetal (MOREIRA, 1964).

A carbonização da lenha é praticada, de forma tradicional, em fornos de alvenaria com ciclos de aquecimento e resfriamento, que duram vários dias. Os fornos cilíndricos, com pequena capacidade de produção, sem mecanização e sem recuperação de alcatrão, continuam sendo os mais usados nas carvoarias. A temperatura máxima de carbonização é de 500°C (INFONER, 2004).

O atual controle de carbonização dos fornos depende, unicamente, da experiência do carvoeiro. As operações nesses fornos são realizadas de forma empírica, sem fundamentos científicos, baseados apenas no conhecimento obtido pelo operador, por meio de tentativas e erros. Para padronizar a rotina de carbonização em fornos de alvenaria faz-se necessário conhecer um grande número de variáveis envolvidas, como temperatura média final de carbonização, taxa de aquecimento médio, tempo médio de carbonização etc. (PINHEIRO e SAMPAIO, 2001).

Existem dois tipos de processos de carbonização: contínuo e descontínuo. No processo de carbonização contínua, o aquecimento da carga é externo, os gases quentes circulam externamente num recipiente metálico, contendo a madeira, o que leva a baixos rendimentos térmicos e rápido desgaste do equipamento. O processo descontínuo surgiu da necessidade de se aumentar a eficiência da carbonização, facilitar a sua operação, melhorar a qualidade de vida dos carvoeiros e de fixar frentes de carbonização, com a formação de baterias (OSSE, 1972).

Existem vários modelos de fornos de carbonização, preconizando-se uma possível classificação, envolvendo apenas os descontínuos, que trabalham por bateladas. A classificação se encontra no Quadro 4.

Quadro 4 – Classificação de fornos de carbonização através do descontínuo.

Tipos de Fornos		Denominação complementar	Diâmetro	Tipo de chaminé
1. De superfície, alvenaria.	Cilindros esféricos	Padrão Pequeno Grande	5 m 4 m até 10 m	Chaminé lateral ou tiragem central
	Não-cilíndricos: rabo quente ou biscoiteiro		2-4 m	Chaminé lateral ou tiragem central
2. De encosta ou de barranco				
3. Metálicos	Cilíndricos		2-3 m	Chaminé lateral ou tiragem central
	Retangulares		2-3 m	
4. De alvenaria com câmara de combustão externa			variável	Chaminé lateral ou tiragem central

Fonte: VALENTE E LELLES (1983)

O forno tipo rabo-quente é o modelo mais simples de forno de alvenaria. Consiste numa construção em forma de colméia, com orifícios de entrada de ar, chamados “tatus”, “filas” e “baianas”. O carregamento é feito por batelada, sendo a lenha cortada em toretes de 1,0 a 2,0 m de comprimento, de acordo com as dimensões do forno. A madeira é seca ao ar até atingir umidade inferior a 30% (FERREIRA, 2000). Esses fornos são os mais usados por pequenos produtores nas regiões de Cerrado, em função do seu baixo custo, simplicidade de operação e sua semimobilidade para acompanhar a frente de exploração (TRUGILHO, 1988). Sem o controle eficiente da entrada de ar (oxigênio) no sistema, torna-se difícil o controle da temperatura de carbonização, uma vez que a qualidade e o rendimento dependem, dentre outros fatores, da temperatura (ALMEIDA e REZENDE, 1982).

No final da carbonização, o forno deve ser barrelado para impedir a entrada de ar em seu interior e, assim, possibilitar o esfriamento. O processo de carbonização, que envolve o carregamento do forno à retirada do carvão, dura cerca de oito dias, em média.

Outros fornos de alvenaria, como os fornos de encosta, também chamados fornos de barranco, aproveitam o desnível natural dos terrenos acidentados. Tais fornos são construídos com diâmetro entre três e quatro metros e possuem capacidade de 10,5 a 14 estéreos de lenha, podendo ter chaminés laterais, com ou sem tiragem central. São constituídos de uma “camisa” cilíndrica, cavada no solo, e de uma cúpula de alvenaria.

Os fornos de superfície, com e sem câmara de combustão, são semelhantes aos fornos do tipo rabo quente, além de possuírem o mesmo ciclo de produção (MARRI et al., 1982).

No forno de superfície, com câmara de combustão externa, o calor necessário à carbonização pode ser produzido pela queima de madeira dentro da câmara; os gases quentes gerados são lançados, através de vários dutos, no interior do forno (MARRI et al., 1982).

2.3.1.Fornos retangulares de alvenaria

Outros fornos de alvenaria, que utilizam o processo direto de aquecimento, como fonte interna de calor, são os fornos retangulares (BASTOS FILHO, 1986).

Os fornos retangulares apresentam grande capacidade volumétrica, variando de 38 a 200 stes. São construídos para permitir carga e descarga mecanizadas. Possuem o mesmo princípio de trabalho dos fornos de superfície; em função das suas dimensões, porém, a cinética de carbonização é bastante irregular. Os fornos retangulares podem estar equipados com sistemas de condensação de vapores e recuperadores de alcatrão e são os mais avançados em uso, atualmente, no país. O tempo de residência da lenha no forno é da ordem de doze a quinze dias para carbonização (RAAD, 2000).

2.4 Forno container

O primeiro protótipo do forno container foi desenvolvido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira no Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, no final dos anos de 1980 (FERREIRA, 1988). A primeira unidade construída possuía um container cilíndrico metálico de 100 cm de altura por 64 cm de diâmetro, adaptado para pequenos volumes de lenha. Não apresentava exaustão forçada e nem queima da fumaça, possuía um poço isolante, construído com tijolos e um sistema com talhas para içamento e retirada do container. Nesse protótipo, foi obtido um tempo de carbonização médio de 9 horas e 20 minutos, com rendimento gravimétrico de 35%, em carvão.

No início do ano 2000, num programa de cooperação internacional, três fornos containeres foram implementados na Nicarágua, fruto da cooperação Brasil - Nicarágua.

Com o objetivo de ampliar os estudos sobre o forno container, foi construído outro protótipo na empresa Vallourec & Mannesman do Brasil, na cidade de Paraopeba - MG. Esse forno apresentou modificações em seu projeto original, sendo, inclusive, ampliado para volume de 4 st de lenha. Foi o início dos estudos mais profundos a respeito desta tecnologia.

O forno container pode ser considerado um sistema conjugado que reúne a vantagem do bom isolamento térmico dos fornos de alvenaria e o rápido resfriamento dos fornos metálicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Forno container Industrial

O experimento foi realizado na CIAFAL (Comércio e Indústria de Artefatos de Ferro e Aço Ltda), localizada na cidade de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais. O sistema do forno container da empresa apresentou as seguintes partes: quatro poços isolantes, doze containeres metálicos, sistema de movimentação de carga, acoplado a um queimador de fumaça e um secador de lenha.

3.1.1 POÇOS ISOLANTES

Os poços isolantes foram construídos com tijolos, argila, cimento, ferragens de aço e areia, com as seguintes dimensões: 3,52 m de largura, 3,10 m de comprimento e 4,13 m de altura. As portas de aço mediram 3,18 m de largura e 3,31 m de altura. A base de cada forno foi construída com tijolos e argamassa, medindo 3,1 m de comprimento, 3,52 m de largura e 0,50 m de altura. A saída de cada chaminé foi construída com tijolos refratário, em forma de trapézio, massa refratária e argamassa comum, com comprimento de 62 cm de diâmetro e 50 cm de altura. Cada câmara de ignição dos quatro poços isolantes, localizada na base do forno, foi construída de alvenaria, tijolos refratários com 30 cm de altura por 32 cm de diâmetro, com uma tampa de ferro fundido, de 42 cm de diâmetro. Foi construída uma porta de aço, contendo uma janela regulável localizada na parte inferior, que permite o controle da entrada e saída de oxigênio e acoplado ao poço o sistema de injeção de ar, como ilustra a Figura 1.



Figura 1 – Vista dos poços isolantes, câmara de ignição e do sistema de injeção de ar.

3.1.2 CONTAINERES METÁLICOS

O container metálico industrial é constituído de um cilindro de aço, fabricado com chapas de 3/8 e 3/16", com altura de 2,6 m e 2,1 m de diâmetro, com volume nominal de 9 m³, conforme ilustra a Figura 2. A tampa do container foi fabricada com ferro fundido, com peso de 800 kg, dotada de orifícios distribuídos em toda área, conforme a Figura 1A (anexo). O fundo do container dispõe de uma chaminé com 40 cm de altura por 30 cm de diâmetro, por onde são retirados os gases, durante o processo de carbonização. No centro das paredes foram fixados termopares, nas alturas de 0,60, 1,20 e 1,80 m de altura.



Figura 2 - Forno container na estação de pré-pirólise

3.1.3 SECADOR DE LENHA

A lenha usada neste experimento foi previamente seca num secador de lenha. Este secador estava acoplado por tubulações que utilizava a queima da fumaça. O ar quente gerado na queima da fumaça foi injetado na pilha de lenha, acelerando, dessa forma, o processo de secagem da madeira, antes de ser carregada no forno container.

3.1.4 SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO (CARGA E DESCARGA)

Nesse sistema, a movimentação de carga e descarga dos containeres, foi feita com pórtico rolante, equipado com talha elétrica. A talha está equipada com uma balança, com capacidade para dez toneladas de peso, conforme a Figura 3.

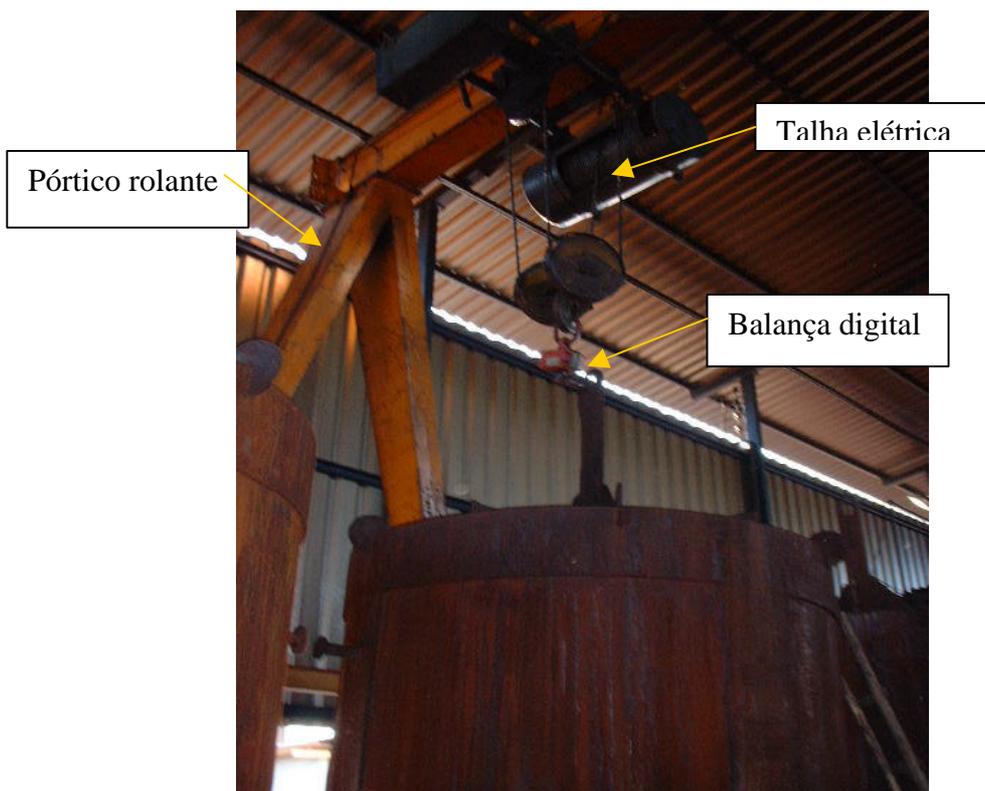


Figura 3 – Sistema de movimentação dos containeres.

A carga e a descarga foram feitas manualmente por dois operadores, sendo realizada a carga, em quinze minutos, e a descarga, em cinco minutos, totalizando vinte minutos todo o processo.

Para o resfriamento, utiliza-se de uma caixa de areia, onde o container é colocado durante doze horas, descarregando-se o carvão, quando este atinge a temperatura ambiente.

3.1.5 QUEIMADOR DE FUMAÇA

O sistema possui um queimador, tipo celular, utilizado para queima dos gases; foi construído com tijolos comuns e refratários, areia lavada, terra, brita, cimento, ferragens e trilhos metálicos. A célula de queima foi construída com dimensões de 0,50 x 0,50 x 0,40 m e vergalhões de 20 mm de diâmetro (aço ASTM 1050) e está localizada na extremidade da câmara de combustão, cujo interior foi revestido com tijolos refratários. Acima da célula de queima foi colocado um depósito de biomassa, que a abastece por gravidade, na medida

em que o combustível foi queimado. O queimador possui, ainda, um cinzeiro localizado abaixo da célula de queima e um ventilador centrífugo para sucção dos gases da carbonização (Figura 2A).

3.1.6 MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

Foram introduzidos, no interior dos containeres, termopares tipo K de haste longa, posicionados no centro do forno container para avaliação da temperatura de carbonização, nas alturas de 1,80 m (termopar 1), 1,20 m (termopar 2) e 0,60 m (termopar 3).

Os termopares foram conectados a um sistema digital de aquisição de dados; os registros foram coletados em intervalos regulares de 30 min, permitindo a elaboração do perfil térmico do forno container industrial, com o auxílio do software SURFER 8.0, versão demonstrativa. O princípio do software consiste em plotar os valores de temperatura (z) nas posições de leitura (x e y), no tempo (h). Definidas as coordenadas, criou-se uma escala de cores, correlacionando-as com os valores de temperatura.

3.1.7 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DA LENHA

A lenha foi obtida de plantios de *Eucalyptus* sp, com diâmetro médio de 0,15 m e comprimento médio de 2,4 m. Para a determinação da densidade e da umidade foram retiradas, aleatoriamente, quatro toras, como amostra de cada carbonização.

A umidade (em %) foi calculada através da equação 1. A densidade básica foi calculada segundo a metodologia descrita por VITAL (1984).

$$U = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

U = Umidade em %;

Mu = Massa dos discos úmidos, em g;

Ms = Massa dos discos secos, em g.

3.1.8 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DO CARVÃO

Os procedimentos utilizados para a análise química imediata do carvão vegetal foram baseados nas normas ASTM D-1762-64 e na ABNT NBR 8112/83. Na aplicação desta última norma foram adotadas, a NBR 5734/83 e NBR 6923/81 como normas complementares.

Matérias voláteis

Para a determinação do teor de matérias voláteis foi usada uma mufla previamente aquecida a 950 ± 10 °C. Inicialmente, colocou-se o cadinho tampado, com 1 g da amostra do material, na porta da mufla, deixando-o por três minutos; depois o cadinho foi colocado no interior da mufla e a porta foi fechada por oito minutos. A amostra foi retirada e resfriada em dessecador, sendo, então, pesada.

O teor de matérias voláteis foi calculado através da equação 2:

$$MV = \frac{M_s - M_v}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde:

MV = teor de matérias voláteis, em %;

Ms = massa inicial da amostra seca em estufa, em g;

Mv = massa final da amostra, em g.

Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, o material foi levado à mufla previamente aquecida a $600 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ por um período de seis horas até a sua completa calcinação. A amostra foi retirada e deixada em dessecador sendo, então, pesada.

O teor de cinzas do carvão vegetal foi obtido através da equação 3:

$$CZ = \frac{M_s}{M_r} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

em que

CZ = teor de cinzas no carvão, em %;
Mr = massa do resíduo (cinzas), em g;
Ms = massa da amostra seca em estufa, em g.

Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é uma medida indireta e foi calculado através da equação 4.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad \text{Equação 4}$$

onde:

CF = teor de carbono fixo, em %;
CZ = teor de cinzas no carvão, em %;
MV = teor de matérias voláteis, em %.

3.1.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados, foi construída uma matriz de correlação com uso do programa STATISTICA 6.0, com $p > 0,05$ e $N = 27$.

3.2 Forno retangular de quarenta estéreos.

Os dados são referentes aos fornos retangulares de quarenta estéreos, com câmara de combustão externa, com comprimento padronizado de 13,10 m comprimento, 3,95 m de largura e 3,5 m de altura. Toda estrutura foi construída em alvenaria, tijolos comuns, revestidos com massa produzida a partir da mistura de areia, barro, alcatrão e moinha de carvão. Estes fornos têm uma vida útil de dez anos.

A principal espécie utilizada na carbonização é o *Eucalyptus urophylla* (principal), tendo a lenha densidade entre 0,50-0,65 g/cm³, diâmetro de 0,15 m e comprimento de 2,20 m outras espécies, como, *E. camaldulensis*, *E. critriodora*, também são utilizadas. Cada forno retangular de 40 estéreos envolve um ciclo de carbonização durante dez dias (quatro dias com a

carbonização e seis dias com esfriamento). A carga nesse forno é realizada, manualmente, com (três trabalhadores), durando cerca de 1 hora e 30 minutos; a descarga é feita com pá carregadeira, com duração de 30 minutos por forno. O rendimento gravimétrico médio de carvão vegetal é de 35%. O número de empregados para operação dos cem fornos nesta carvoaria é de 30, sendo a produção de carvão vegetal mensal de 5.000 mdc.

3.3 Análise financeira e econômica do forno container industrial e do forno retangular de quarenta estéreos

Para proceder à análise financeira e econômica dos projetos analisados neste trabalho, foi utilizada uma taxa de juros de 10% ao ano.

A análise financeira e econômica tem sua importância e interesse na medida em que auxilia as empresas na tomada de decisão de um investimento.

Os indicadores financeiros estimados foram: lucratividade, rentabilidade, prazo de retorno do investimento e ponto de equilíbrio. As equações 5 a 8 mostram como foram efetuados os cálculos desses indicadores. É importante ressaltar que a análise financeira é de curto prazo, ou seja, envolvendo uma análise anual.

A análise econômica, por outro lado, é uma análise de longo prazo, que, neste trabalho, envolve um horizonte de planejamento de dez anos.

Os indicadores econômicos estimados neste trabalho foram: VPL, TIR, B(C)PE e B/C¹. Os cálculos destes indicadores foram efetuados, conforme as equações 9 a 12.

3.3.1 Lucratividade

A lucratividade é um indicador que demonstra a eficiência operacional de um negócio. É expressa como um valor percentual que indica a proporção de ganhos de um negócio (ROSS *et al*, 1995).

¹ Estes indicadores são, frequentemente, utilizados para horizontes de planejamento longos, como é o caso deste trabalho, por considerar a variação do valor do capital no tempo.

$$\text{Lucratividade} = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Receita total}} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

3.3.2 Rentabilidade

A rentabilidade é um indicador que mostra a velocidade de retorno do capital investido no negócio. É obtida sob forma de um valor percentual por unidade de tempo e indica a taxa de retorno do capital investido (ROSS *et al*, 1995).

$$\text{Rentabilidade (\%)} = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Investimento Total}} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

3.3.3 Prazo de Retorno do Investimento (PRI)

O prazo de retorno do investimento é o tempo que a empresa leva para recuperar o investimento, sob a forma de lucro, após o início das atividades (ROSS *et al*, 1995).

$$\text{Prazo de retorno do investimento} = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Lucro líquido}} \quad \text{Equação 7}$$

3.3.4 Ponto de Equilíbrio

O ponto de equilíbrio mostra o nível de vendas necessário para igualar custos e receitas da empresa. Neste ponto, as receitas da empresa cobrem todos os custos, não sobrando nada de lucro. Assim sendo, se as vendas da empresa forem superiores ao ponto de equilíbrio, a empresa apresentará lucro, caso contrário, terá prejuízo (ROSS *et al*, 1995).

$$\text{Ponto de Equilíbrio} = \frac{\text{Custos fixos}}{\text{PVU} - \text{CVU}} \quad \text{Equação 8}$$

PVU = preço de venda unitário;

CVU = custo variável unitário.

3.3.5 Valor presente líquido (VPL)

O VPL é definido como a soma dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado, conforme Equação 9. (REZENDE E OLIVEIRA, 2001; SILVA *et al.*, 2002).

Em outras palavras, o VPL representa o lucro do empreendimento. O projeto é considerado viável se o VPL for maior ou igual a zero.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

R_j = Receita no final do ano 1, em R\$;

C_j = Custo no final do ano j, em R\$;

i = Taxa de desconto;

n = Duração do projeto, em anos.

3.3.6 Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE)

O B(C)PE é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil (REZENDE e OLIVEIRA, 2001; SILVA *et al.*, 2002).

O projeto será considerado economicamente viável se o B(C)PE for positivo, indicando que os benefícios periódicos são maiores que os custos periódicos. A equação 10 representa o valor do B(C)PE.

$$B(C)PE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1](1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Equação 10}$$

onde:

i = taxa de juros

n = duração do projeto, em anos;

t = nº de períodos de capitalização dentro do prazo de ocorrência da parcela.

3.3.7 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR representa a taxa anual de retorno do capital investido no projeto. Também pode ser entendida com a taxa de desconto que iguala o valor presente dos custos ao valor presente das receitas, isto é, iguala o VPL a zero. (REZENDE & OLIVEIRA, 2001; SILVA *et al.*, 2002).

O projeto é considerado viável economicamente se a TIR for maior que uma taxa de desconto correspondente a taxa de remuneração do capital, denominada taxa mínima de atratividade (TMA). A equação 11 expressa conceitualmente a TIR.

$$\sum_{j=0}^N R_j(1 + TIR) = \sum_{j=0}^N C_j(1 + TIR)^{-j} \quad \text{Equação 11}$$

onde:

C_j = Custo no final do ano j , em anos;

R_j = receita no final do ano j ;

TIR = taxa interna de retorno.

3.3.8 Razão benefício-custo B/C

É a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, para dada taxa de desconto (REZENDE & OLIVEIRA, 2001; SILVA *et al.*, 2002).

O projeto será considerado viável se a B/C for maior que a unidade, e, quanto maior este valor, mais atraente é o projeto.

A equação 12 expressa a razão B/C.

$$B / C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j(1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j(1 + i)^{-j}} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

B/C = razão benefício-custo à taxa de desconto i ;

R_j = receita no final do ano j ;

C_j = custo no final do ano j ;

n = duração do projeto, em anos.

3.4 Custos envolvidos nos projetos dos fornos retangulares de quarenta estéreos e container industrial²

3.4.1 Custo de implantação

Os custos de implantação são aqueles relacionados com todas as operações até o primeiro ano do projeto (SILVA *et al*, 2002)

O custo de implantação do projeto do forno retangular inclui: terraplanagem, cascalho, construção, material dos fornos, cerca e refeitório. O valor total deste custo para o projeto do forno retangular foi de R\$ 1.000.000,00. Para o forno container industrial o custo de implantação foi de R\$ 3.346.190,00 e inclui os containeres metálicos, poços isolantes, poços de pré-carbonização, poços de resfriamento, câmaras de combustão (fornalhas para queima de fumaça), tubulações metálicas de interligação da fornalha, ventiladores de gás quente e ventiladores de indução e chaminés, instalações elétricas de todos os motores com cablagem e painéis específicos, instalação do sistema de controle automático de leitura de temperaturas do processo (carbonização, pré-carbonização, resfriamento, câmara de combustão e pontos nos dutos de condução de fumaça e calor), dutos de alvenaria para condução de calor e fumaça; manual de operação do sistema, treinamento prático na operação da planta industrial, acompanhamento na implantação e "star-up" da planta industrial.

3.4.2 Capital de giro

Capital de giro é o montante de recursos em dinheiro que a empresa deve ter à disposição para movimentar o dia-a-dia do negócio (ROSS *et al*, 1995).

² Uma síntese dos custos envolvidos nos projetos estão apresentados no Quadro 7.

Para o cálculo do capital de giro dos projetos, dividiu-se o custo variável total anual, excluindo-se o custo de comercialização, por doze (meses). (Quadro 7).

3.4.3 Custos Fixos

Custos fixos são aqueles que não variam, quando se varia a produção (FERGUNSON, 1987).

Os custos fixos, considerados para realizar a análise financeira e econômica, foram os custos de depreciação e de oportunidade.

Os custos de depreciação são aqueles provenientes do uso de bens que não são consumidos num ano. A existência desses custos se deve à reposição de peças, devido ao uso, ferrugem e desgastes causados pelo tempo, além da desatualização ou obsolescência das máquinas (SILVA *et al*, 2002). Neste trabalho, o cálculo do custo de depreciação considerou o custo total de implantação em 10%.

Os custos de oportunidade se referem a uma possível perda de rendimento pela opção por uma determinada alternativa de investimento, em detrimento de outra (LIMA, sd).

O custo de oportunidade foi calculado como demonstrado na equação 13:

$$CO = \left[\left(\frac{CI}{2} \right) x (r) \right] + [(CG)x(r)] \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

CO = custo de oportunidade;

CI = custo de implantação total;

CG = capital de giro;

r = taxa de juros.

3.4.4 Custos Variáveis

Os custos variáveis podem ser definidos como aqueles custos que variam quando se varia a produção (FERGUNSON, 1987). Os custos variáveis envolvidos nas análises dos projetos considerados neste trabalho foram:

3.4.4.1) Custos de manutenção

Os custos de manutenção para o projeto do forno retangular de quarenta estéreos incluem reforma de cada forno e de cada porta. Considerando que a reforma de cada forno foi R\$ 350,00 e de cada porta do forno foi R\$ 80, 00, este custo foi de R\$ 43.000,00/ano para o projeto do forno retangular. Para o projeto do forno container, o custo de manutenção inclui soldagem nos containeres metálicos, reparos nos poços isolantes, na grelhas etc. Neste projeto, o custo de manutenção foi de R\$ 30.000,00 por ano.

3.4.4.2) Custos de operação

Os custos de operação para os projetos analisados envolvem a carga da lenha e a descarga do carvão vegetal.

3.4.4.3) Custos com eletricidade

O custo anual com eletricidade para o forno container foi de 36.000,00 e envolvido no sistema de movimentação. Estes custos são inexistentes nos fornos retangulares.

3.4.4.4) Custos com a lenha

O custo da lenha está envolvido diretamente com o consumo de madeira para produzir carvão vegetal.

Para estimar o custo da lenha foi utilizada a equação 14.

$$CL = CAL \times P$$

Equação 14

CL = custo da lenha;

CAL = consumo anual de lenha em st;

P = preço da lenha em st.

O consumo anual de lenha para produção no forno retangular e no container foi, respectivamente, de 144.000 e 158.400 st. O preço da lenha, foi R\$ 25,00 st.

3.4.4.5) Custos com encargos sociais

As empresas consideram 50 ou 100% do custo da mão-de-obra para cálculo do custo de encargos sociais. Neste trabalho, foi considerado 50% do custo da mão-de-obra.

3.4.4.6) Custos com a mão-de-obra

Os custos referentes à mão-de-obra no projeto do forno retangular de quarenta estéreos e do forno container são apresentados nos Quadros 5 e 6 e dizem respeito ao pagamento de salários:

Quadro 5 - Custos de mão-de-obra no projeto do forno retangular de 40 st (em R\$).

Função	Salário mensal	N ^o de funcionários	Total mensal	Total anual
Carbonizador	700,00	3	2.100,00	25.200,00
Operador máquina	1.000,00	2	2.000,00	24.000,00
Pedreiro	500,0	1	500,00	6.000,00
Auxiliares de praça	350,00	10	3.500,00	42.000,00
Carga de lenha	350,00	21	7.350,00	88.200,00
Total Geral	2900,00	37	15.450,00	185.400,00

Fonte: Empresas do Setor (2004).

Quadro 6 - Custos de mão-de-obra no projeto do forno container (em R\$).

Função	Salário mensal	N ^o de funcionários	Total mensal	Total anual
Carbonizador	700,00	2	1.400,00	16.800,00
Auxiliares de praça	350,00	7	2.450,00	29.400,00
Coordenador	850,00	1	850,00	10.200,00
Total Geral	1.900,00	10	4.700,00	56.400,00

Fonte: Empresas do Setor (2004).

3.4.4.7) O custo de comercialização

O cálculo do custo de comercialização foi feito com base na equação 15:

São considerados custos de comercialização todos aqueles que incidem sobre o preço de venda (ROSS *et al*, 1995).

$$CC = PVU \times P \times C$$

Equação 15

Onde:

CC = custo de comercialização;

PVU = preço de venda unitário;

P = produção;

C = comercialização (5%).

O preço de venda unitário foi obtido de acordo com a equação 16.

$$PVU = \frac{CUP}{[1 - (C + ML)]} \quad \text{Equação 16}$$

PVU = Preço de venda unitário;

CUP = Custo unitário de produção (é a soma do rateio dos custos fixos e o custo variável unitário)³

C = comercialização (5%)

ML = Margem de lucro (20%).

O rateio foi obtido de acordo com a equação 17.

$$R = \frac{CF}{p} \quad \text{Equação 17}$$

CF = Custo fixo;

P = Produção (mdc/ano⁴).

³ O valor do rateio do custo variável unitário de produção para os projetos do forno container e retangular de 40 st é respectivamente, de 57,18 e 63,53.

⁴ O valor da produção anual para os projetos dos fornos container e retangular de 40 st encontra-se no Quadro 11.

Quadro 7- Custos envolvidos nos projetos do container industrial e no forno retangular de 40 st. ⁵

Custos	Retangular Valor (R\$)	Container Valor (R\$)
Custo de implantação	1.000.000,00	3.346.190,00
Capital de giro	332.646,66	343.070,00
Custos fixos (CF)	(R\$/ano)	(R\$/ano)
Depreciação	100.000,00	334.619,00
Custo de oportunidade	83.264,66	201.616,50
Total	183.264,66	536.235,50
Custos variáveis (CV)	(R\$/ano)	(R\$/ano)
Manutenção	43.000,00	30.000,00
Operação	100.000,00	6.240,00
Eletricidade	0,00	36.000,00
Custo da lenha	3.600.000,00	3.960.000,00
Encargos sociais	82.919,96	28.200,00
Custo de comercialização	278.340,00	309.960,00
Mão-de-obra	165.839,92	56.400,00
Total	4.270.099,88	4.426.800,00
Total Geral	5.786.011,20	8.652.295,50

Fonte: Empresas do setor (2004)

⁵ A cotação média do dólar em março de 2005 foi de R\$ 2,7113 (vd/BC/P-tax), (CEPEA, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Forno container industrial

A umidade média da lenha carbonizada foi de 30% e densidade média de 0,52 g/cm³ (Quadro 8).

Os parâmetros médios de avaliação de vinte e sete carbonizações e do carvão vegetal no forno container industrial estão apresentados nos Quadros 8 e 9.

Quadro 8 – Parâmetros médios de tempo de carbonização, temperatura final de carbonização, taxa de aquecimento, rendimento gravimétrico, rendimento volumétrico, porcentagem de tiço, umidade da lenha.

	TC (h)	TF (°C/h)	RG (%)	RV (L:C)	Tiço (%)	TA (°C/h)	U (%)
Médias	17,6	393	37	1,9	11,9	30	30
Máximo	20,5	544	42	2,5	27,1	66	39
Mínimo	15,5	296	30	1,7	1,87	19	22

TC = Tempo de carbonização; TF = Temperatura final média; RG = Rendimento gravimétrico; RV = Rendimento volumétrico; Tiço = % tiço; TA = Taxa de aquecimento; U = umidade.

Quadro 9 – Parâmetros médios do carvão vegetal.

	DG (kg/mdc)	CF (%)	MV (%)	CZ (%)
Médias	206	72	27	1
Máximo	267	78,2	37,6	3,47
Mínimo	179	61,9	20,4	0,25

DG = Densidade a granel; CF = Teor de carbono fixo do carvão; MV = Materiais voláteis do carvão; CZ = Teor de cinzas do carvão.

O teor de carbono fixo do carvão vegetal encontrado neste trabalho foi 72%, em média. Valor compatível com aquele encontrado por BARCELLOS (2002), em experimento realizado com o protótipo de um forno container, que obteve valores de 71%, em média, para um teor de carbono fixo. Nos experimentos, os teores de carbono fixos foram superiores aos 68% normalmente encontrados em fornos de alvenaria, utilizando a mesma lenha de Eucalyptus sp.

A média da densidade a granel do carvão vegetal (Quadro 9) é de 206 kg, estando este valor relativamente baixo, considerando o carvão utilizados para siderurgia. Normalmente, a densidade do carvão comercial se encontra entre 240 e 260 kg (MENDES et al. 1982).

As correlações obtidas entre as variáveis estudadas apresentaram uma matriz cujos valores estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Matriz de correlação das variáveis estudadas

	TC (horas)	TF (°C/h)	RG (%)	RV (L:C)	Tiço (%)	U (%)	DG (Kg/mdc)	TA (%)	CF	MV	CZ
TC (horas)	1,00	0,04	-0,14	0,08	-0,05	0,19	0,13	-0,59	0,04	-0,09	0,28
TF (°C/h)	0,04	1,00	0,30	-0,20	0,14	-0,08	-0,12	-0,08	-0,10	0,18	-0,46
RG(%)	-0,14	0,30	1,00	-0,59	-0,04	0,16	-0,05	-0,12	-0,17	0,22	-0,32
RV(L:C)	0,08	-0,20	-0,59	1,00	0,26	0,05	0,73	0,17	-0,07	-0,01	0,38
Tiço (%)	-0,05	0,14	-0,04	0,26	1,00	-0,10	0,04	0,26	-0,40	-0,38	-0,08
U(%)	0,19	-0,08	0,16	0,05	-0,10	1,00	0,19	0,03	-0,40	0,41	-0,21
DG (Kg/mdc)	0,13	-0,12	-0,05	0,73	0,04	0,19	1,00	-0,13	-0,17	0,12	0,24
TA (%)	-0,59	-0,08	-0,12	0,17	0,26	0,03	-0,13	1,00	-0,14	0,17	-0,26
CF	0,04	-0,10	-0,17	-0,07	-0,40	-0,40	-0,17	-0,14	1,00	-0,99	0,32
MV	-0,09	0,18	0,22	-0,01	0,38	0,41	0,12	0,17	-0,99	1,00	-0,48
CZ	0,28	-0,46	-0,32	0,38	-0,08	-0,21	0,24	-0,26	0,32	-0,48	1,00

Os dados em vermelho são significativos a 5%.

Onde:

TC = Tempo de carbonização

TF = Temperatura final média

RG = Rendimento gravimétrico

RV = Rendimento volumétrico

Tiço = % tiço

U = umidade

DG = Densidade a granel
TA = Taxa de aquecimento
CF = Teor de carbono fixo do carvão
MV = Matérias voláteis do carvão
CZ = Teor de cinzas do carvão

Foi observada uma correlação positiva não significativa entre o rendimento gravimétrico e a temperatura média final. Este resultado poderia ser explicado em função das menores perdas de voláteis pelo carvão vegetal, durante a carbonização. Normalmente, o rendimento gravimétrico diminui com o aumento da temperatura média final. BARBOSA (1986) fez uma avaliação qualitativa do carvão produzido da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.) e encontrou correlação negativa entre o rendimento gravimétrico de carvão e a temperatura final de carbonização. O aumento da temperatura provocou uma maior dissociação do resíduo da decomposição térmica, gaseificando parte da estrutura sólida do carvão, eliminando gases absorvidos anteriormente pelas partículas sólidas do resíduo. Os resultados encontrados foram coerentes com a teoria de carbonização. Outros autores, como VALE (1988) e ALMEIDA (1983), também obtiveram redução no rendimento gravimétrico com o aumento da temperatura final de carbonização.

A porcentagem de tiço apresentou correlação positiva não significativa com a taxa média de aquecimento. As altas taxas de aquecimento podem ter diminuído a uniformidade da temperatura (calor) nas peças de lenha enfiada durante a carbonização e, conseqüentemente, gerando maior quantidade de tiço.

A partir dos dados do Quadro 8 foi possível construir gráficos que mostram os resultados obtidos neste estudo. O gráfico que apresenta o rendimento gravimétrico versus taxa de aquecimento encontra-se ilustrado na Figura 4.

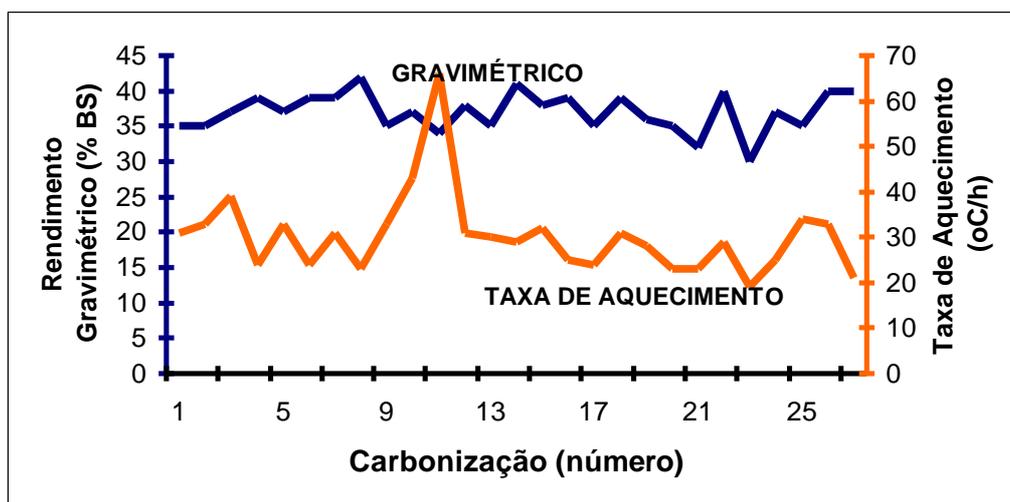


Figura 4 – Rendimentos gravimétricos X taxa de aquecimento.

Pode-se verificar que o aumento da taxa de aquecimento não influenciou as perdas no rendimento gravimétrico (Figura 4).

O rendimento gravimétrico foi de 37%, indicando que a produção de carvão vegetal, através do forno container, tem um sistema eficiente e um bom rendimento (Quadro 8). Se o teor de umidade da madeira for menor, é possível encontrar valores mais altos de rendimento gravimétrico. Segundo VALENTE (1986), o elevado teor de umidade, além de aumentar o tempo de carbonização, reduz o rendimento gravimétrico, pois consome parte da carga da lenha para evaporar a água.

FERREIRA (1988) obteve 35% de rendimento em carvão, utilizando lenha com 24% de umidade, no primeiro forno container desenvolvido. As taxas de aquecimento variaram entre 29-66°C/h, neste experimento; no entanto, as altas taxas de aquecimento não interferiram no rendimento gravimétrico, provavelmente porque as taxas não se mantiveram altas em todo o tempo, apenas se elevaram, em alguns momentos.

Ao analisar a Figura 5, que relaciona temperatura máxima média e rendimento gravimétrico, observa-se que os maiores rendimentos em carvão são obtidos quando a temperatura média máxima atinge a faixa de 390 a 490°C. Isto foi verificado, também, nos estudos de OLIVEIRA et al. (1982), que indicam os maiores rendimentos em carvão, obtidos na faixa de 400-500°C.

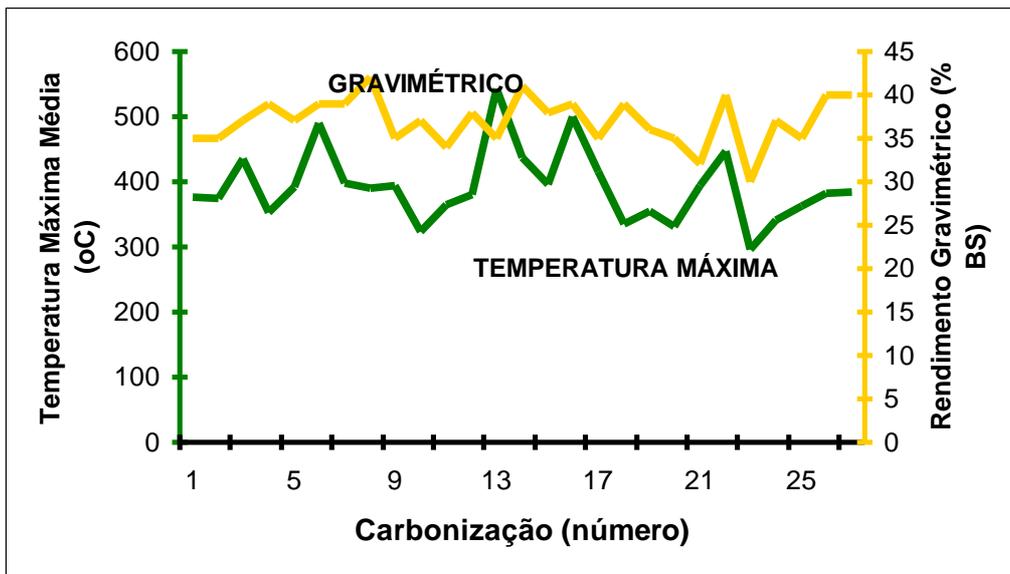


Figura 5– Temperatura máxima média x rendimento.

Durante a carbonização foram observadas três fases distintas (Figura 6):

Primeira fase: de seis horas - esta fase foi marcada pelo aquecimento da carga de lenha contida no container, e pela queima de combustível na câmara de combustão do forno. Os três termopares colocados dentro do container industrial indicaram uma taxa de aquecimento muito parecida, apresentando temperaturas muito próximas entre si.

Segunda fase: de oito horas - nesta fase, foi formado um gradiente de temperatura que ficou evidente até a décima quarta hora. A partir da décima quinta hora, este gradiente desapareceu e as temperaturas do forno, praticamente, se igualaram.

Terceira fase: de quatro horas - nesta etapa, ocorreu uma inversão do gradiente de temperatura, indicando que a frente de carbonização havia chegado à posição mais baixa do container, determinando o fim do processo de carbonização.

Quarta fase – A partir desta fase pode ocorrer contração do carvão com sua subsequente queima, o que resulta na redução no rendimento, havendo uma leve redução da temperatura média do leito de carbonização.

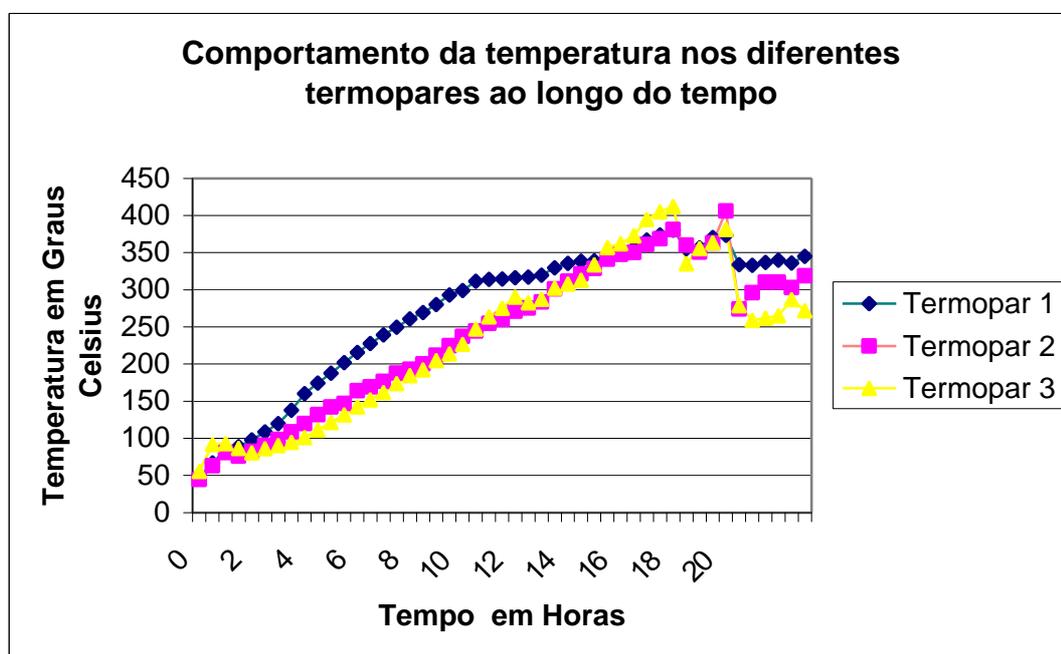


Figura 6 - Comportamento da temperatura nos diferentes termopares ao longo do tempo de carbonização.

O comportamento da temperatura de carbonização ao longo do tempo e a posição da frente de carbonização dentro do forno estão representados graficamente na Figura 7.

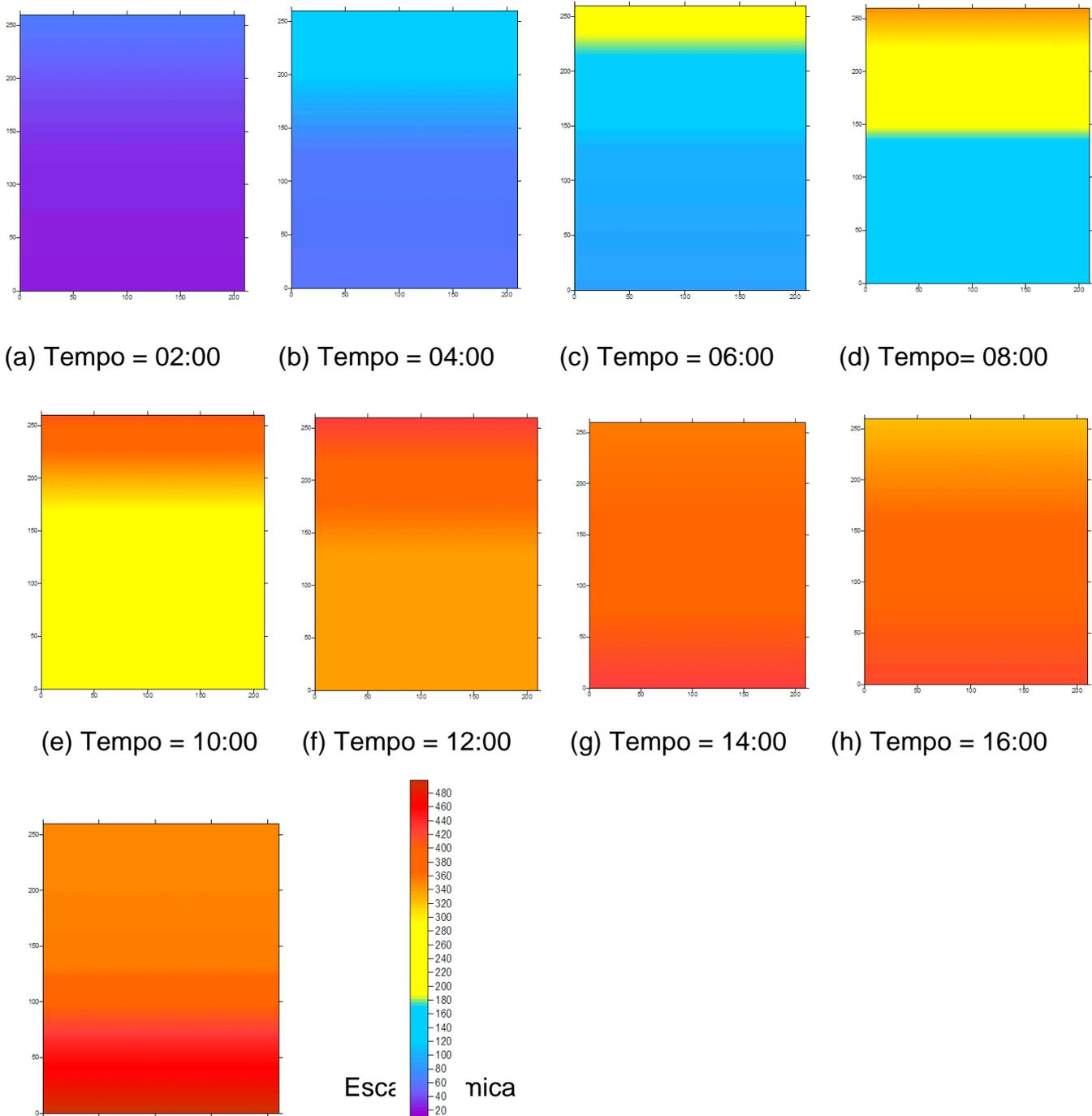


Figura 7 - Representação gráfica do comportamento da temperatura de carbonização dentro do container ao longo do tempo.

Nas seis primeiras horas de operação, o forno, que se encontrava à temperatura ambiente, aquece a carga de lenha e o sistema entra em regime exotérmico (Figura 7 a, 7 b e 7 c). O gradiente de temperatura é formado com temperaturas mais elevadas, nas partes superiores do container, e temperaturas mais baixas, na parte inferior (Figura 7 d).

À medida que a carbonização ocorre, os gases quentes sobem e a fumaça desce, sendo succionada pela chaminé. A frente de carbonização é formada na parte superior do container, com temperaturas entre 340 e 400°C (Figura 7 e).

Até, aproximadamente, a décima primeira hora, forma-se a frente de carbonização, primeiramente secando a lenha e, depois, pirolisando a mesma (Figura 7 f). Aproximadamente entre a décima segunda até a décima quarta hora, o forno apresenta temperaturas próximas de 340°C, em todas as alturas avaliadas, não sendo mais evidenciado o gradiente de temperatura (Figuras 7 f e 7 g).

Entre a décima sexta e a décima sétima hora ocorre a inversão do gradiente de temperatura (Figuras 7 h e 7 i). A parte inferior do container apresenta uma temperatura mais elevada que na parte superior, indicando a proximidade do fim da carbonização.

AJUSTE DA EQUAÇÃO

O modelo matemático que melhor representou a evolução da temperatura de carbonização foi o modelo linear simples (Equação 17):

$$y = a + bx$$

Equação 17

Sendo:

y = Temperatura em graus Celsius;

x = tempo de carbonização em horas;

a, b = Coeficientes.

$$a = 59,7988$$

$$b = 17,4148$$

Coeficiente de determinação ajustado (R^2) = 0,6808

Erro padrão = 62,553

O modelo linear ajustado foi escolhido pelas seguintes razões: apresentou distribuição normal, melhor distribuição dos resíduos e o coeficiente de determinação (R^2), apesar de ter apresentado valor menor que o modelo cúbico testado, tiveram os resíduos mais próximos; o erro padrão dos parâmetros das estimativas do modelo linear simples foram inferiores aos dos outros modelos testados.

A leitura dos dados pelos termopares durante o processo de carbonização permitiu visualizar, graficamente, a evolução da temperatura no interior do forno (Figura 8).

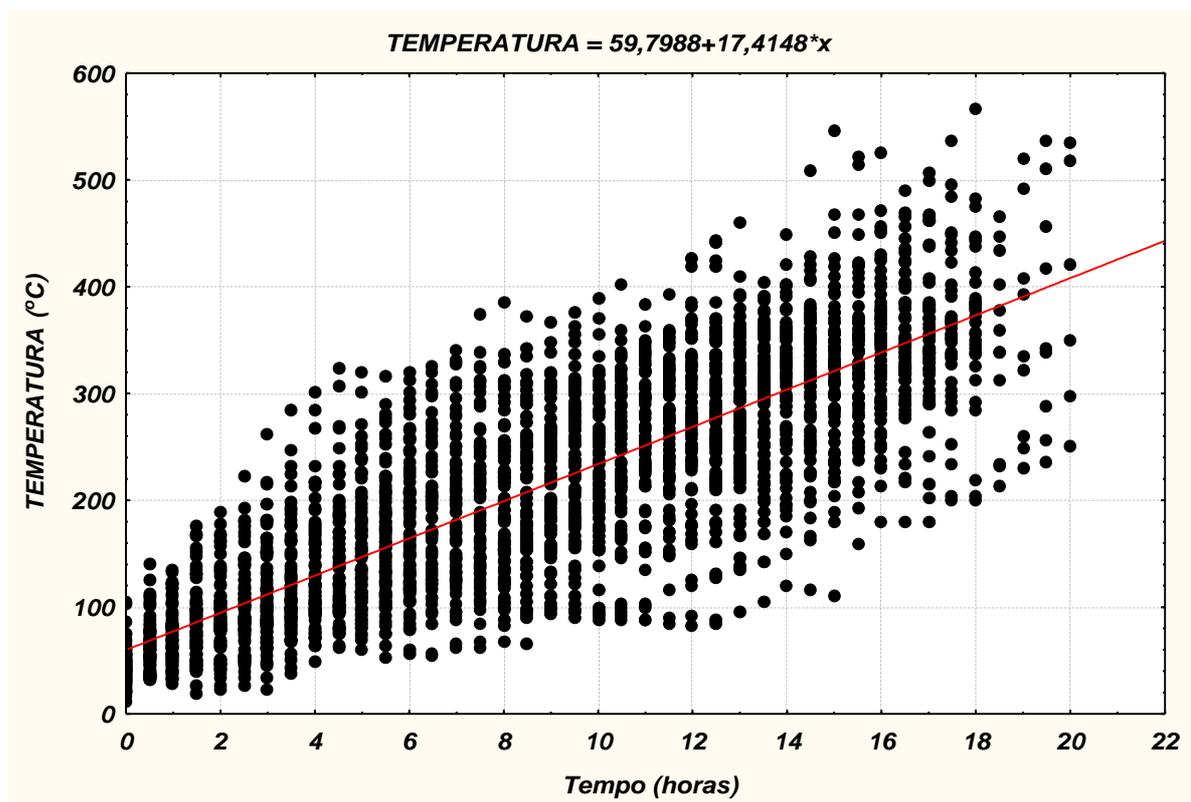


Figura 8 – A evolução da temperatura de carbonização.

O modelo do forno container industrial tem promissoras vantagens comparadas aos sistemas tradicionais, a saber: maior durabilidade, com vida

útil de dez anos, rápido resfriamento do carvão (aproximadamente doze horas), contra três a quatro dias nos sistemas tradicionais, possibilidade de mecanizar a carga da lenha e descarga do carvão, permite humanizar o trabalho nas carvoarias, em função do menor tempo de carbonização, que dura em média 17,6 horas, evitando a necessidade do operador acompanhar a carbonização, durante vinte e quatro horas, bem como a não-exposição a poluentes, melhor controle da carbonização, por meio gráficos de temperaturas, e não por critérios subjetivos; maior produtividade por unidade de área (um ciclo a cada dois dias, contra um ciclo semanal dos sistemas tradicionais), menor geração de finos, contribuindo para um ambiente de trabalho mais saudável melhor qualidade do carvão, pois não é incorporado material estranho (pedras e terra), como ocorre em carvoarias tradicionais. Adicionalmente, pode-se recuperar o alcatrão e pirolenhosos, com sistema simples de condensação maiores rendimentos de carvão vegetal, entre 30 a 42%, contra 33 a 35%, em fornos tradicionais, maior facilidade de treinamento da mão-de-obra e a padronização das atividades, porque a operação se baseia em leitura instrumental (indicação de temperatura) e não em critérios subjetivos, o que possibilita o estabelecimento de rotinas de trabalho mais uniformes e padronizadas, indo de encontro aos princípios de qualidade total.

4.2 Avaliação econômica e financeira

Com base nos dados apresentados nos Quadros 7, 11 e 12, pode-se estimar os indicadores financeiros e econômicos dos projetos do forno container industrial e do forno retangular de 40 estéreos, cujos resultados encontram-se nos Quadros 13 e 16.

Os Quadros 11 e 12 apresentam, respectivamente, as receitas utilizadas para o cálculo dos indicadores financeiros e econômicos.

Quadro 11 - Receitas do forno container industrial e do forno retangular de 40 st, utilizados na análise financeira.

Tipo de Forno	Produção (mdc/ano)	Preço mínimo de venda unitário/mdc (R\$)	Receita total da venda do carvão (R\$/ano)
Container	72.000	86,10	6.199.200,00
Retangular 40st.	60.000	92,78	5.566.800,00

Fonte: Resultado da pesquisa com exceção da produção, que foi fornecida por empresas do setor.

Quadro 12 - Receitas do forno container industrial e do forno retangular de 40 st, utilizados na análise econômica.

Tipo de Forno	Produção (mdc/ano)	Preço do Carvão vegetal (R\$/mdc)	Receita total da venda do carvão (R\$/ano)
Container	72.000	103	7.416.000,00
Retangular 40st.	60.000	103	6.180.000,00

Fonte: A produção foi fornecida por empresas do setor e preço do carvão vegetal pela SILVIMINAS, 2004.

4.2.1) Indicadores de desempenho financeiro

O Quadro 13 apresenta as estimativas referentes aos indicadores financeiros dos projetos analisados.

Quadro 13 - Resultados dos indicadores de desempenho financeiro dos projetos do forno container industrial e do forno retangular de 40 estéreos.

Indicadores Financeiros		
Índice	Container	Retangular 40st.
1 – Lucratividade	20%	20%
2 – Rentabilidade	36,94%	111,33%
3 – Prazo de retorno do investimento	32 meses	11 meses
4 – Ponto de equilíbrio	21.783,43 mdc	8.480,52 mdc

Lucratividade

Neste trabalho, considerou-se que a empresa está operando para obter uma lucratividade de 20%, ao ano a um custo de comercialização de 5%.

Uma lucratividade de 20% ao ano significa que, para cada R\$ 100,00, vendidos de carvão vegetal, sobram R\$ 20,00 para a empresa, sob a forma de lucro, se a produção ocorrer no forno container ou no forno retangular de 40 st.

Rentabilidade

A rentabilidade do forno container de 36,94% indica que, a cada ano, a empresa recupera 36,94% do que foi investido no negócio. No caso do forno retangular, a rentabilidade foi de 111,33%, mostrando que, a cada ano, a empresa recupera 111,33% do que foi investido no negócio. A rentabilidade do forno retangular apresentou-se maior em função do menor investimento no forno retangular, comparado ao forno container.

Prazo de retorno do investimento

O prazo de retorno do capital investido nos projetos do forno retangular e do forno container foi, respectivamente, de onze meses e trinta e dois meses. Isto significa que a empresa leva trinta e dois meses para recuperar o capital investido no forno container; para o forno retangular, este prazo é menor, ou seja, onze meses.

Apesar de o lucro líquido com a produção de carvão vegetal no forno container ser maior, o investimento total neste tipo de forno é muito superior ao do forno retangular. Sendo assim, leva-se mais tempo para recuperar o capital investido no forno container.

Ponto de equilíbrio

A empresa que investir em um forno container deve vender, anualmente, no mínimo 21.783,43 mdc de carvão vegetal. Optando pelo investimento num forno retangular, é necessária a venda de, no mínimo, 8.480,52 mdc de carvão por ano. Assim, deve-se vender uma quantidade maior de carvão vegetal

quando se produz no forno container para igualar os custos e receitas. Essa diferença na quantidade a ser vendida de carvão vegetal pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- O forno retangular individualmente apresenta um volume de 40 st e o container 8st;
- Os custos fixos do forno container são maiores que do forno retangular;
- O preço de venda unitário do forno retangular é maior que a do forno container;
- O custo variável unitário do forno container é superior ao do retangular.

4.2.2) Indicadores de desempenho econômico

Com os dados de custos e receitas foi possível elaborar um fluxo de caixa para os projetos do forno container e para o forno retangular de 40 st, como apresentado nos Quadros 14 e 15, respectivamente.

Quadros 14- Fluxo de caixa do projeto do forno container (os custos e receitas foram corrigidos pela taxa de juros).

Ano	Custo	Receita	Saldo
0	3.346.190,00	0	-3.346.190,00
1	4.567.159,55	6741818,18	2.174.658,64
2	4.151.963,22	6128925,62	1.976.962,40
3	3.774.512,02	5.571.750,56	1.797.238,54
4	3.431.374,56	5.065.227,78	1.633.853,22
5	3.119.431,42	4.604.752,53	1.485.321,11
6	2.835.846,75	4.186.138,67	1.350.291,91
7	2.578.042,50	3.805.580,60	1.227.538,11
8	2.343.675,00	3.459.618,73	1.115.943,73
9	2.130.613,63	3.145.107,94	1.014.494,30
10	1.936.921,49	2.859.189,03	922.267,55
Total	34.215.730,14	45.568.109,66	11.352.379,52

Quadros 15 - Fluxo de caixa do projeto do forno retangular de 40 st (os custos e receitas foram corrigidos pela taxa de juros).

Ano	Custo	Receita	Saldo
0	1.000.000,00	0	-1.000.000,00
1	4.076.385,95	5.618.181,82	1.541.796,00
2	3.705.805,41	5.107.438,02	1.401.633,00
3	3.368.914,01	4.643.125,47	1.274.211,00
4	3.062.649,10	4.221.023,15	1.158.374,00
5	2.784.226,45	3.837.293,78	1.053.067,00
6	2.531.114,96	3.488.448,89	957.333,90
7	2.301.013,60	3.171.317,17	870.303,60
8	2.091.830,54	2.883.015,61	791.185,10
9	1.901.664,13	2.620.923,28	719.259,20
10	1.728.785,57	2.382.657,53	653.872,00
Total	28.552.389,72	37.973.424,71	9.421.035,00

As estimativas referentes aos indicadores econômicos encontram-se no Quadro 16.

Quadro 16 - Resultados dos indicadores de desempenho econômico do forno container industrial e do forno retangular de 40 estéreos.

Indicadores Econômicos		
Índice	Container	Retangular 40st.
1 – TIR	47,7562%	97,0257%
2 – VPL	R\$ 11.352.379,52	R\$ 9.421.034,99
3 – B(C)PE	R\$ 1.847.547,48/ano	R\$ 1.533.230,05/ano
4 – B/C	1,33	1,32

TIR – Taxa interna de retorno; VPL – Valor presente líquido; B(C)PE – Benefício custo periódico equivalente; B/C – Razão benefício custo.

Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL estimado para os projetos do forno container e do retangular de 40 st foi maior que zero. Isto indica que os projetos são viáveis economicamente.

O VPL representa o lucro do empreendimento corrigido pela taxa de juros. O VPL obtido para o forno container foi de R\$ 11.352.379,52 e para o forno retangular foi de R\$ 9.421.034,99. Sendo assim, o lucro no projeto do forno container é de 20,5% superior ao projeto do forno retangular.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR representa a rentabilidade do projeto. Para o forno container, foi obtida uma TIR de 47,7562% e para o forno retangular encontrou-se uma TIR de 97,0257%. Sendo assim, a empresa que decidir investir em um forno container conseguirá um retorno de R\$ 1.598.013,18 do capital investido. Investindo num forno retangular, o retorno do capital investido será de R\$ 970.257,00.

De acordo com esse critério de decisão, a viabilidade ou inviabilidade do projeto surge, como já foi dito, da comparação com a taxa de desconto. Neste caso, a TIR obtida tanto para o projeto do forno container quanto para o projeto do forno retangular foi superior à taxa de desconto de 10% ao ano, como pode ser observado no Quadro 16. Assim, para a análise baseada na TIR, os projetos são viáveis.

A TIR apresentou-se maior para o projeto do forno retangular de 40 st; entretanto, é preferível obter 47,7562% de retorno, correspondendo 3.346.190,00 do que 97,0257% de retorno correspondendo a 1.000.000,00.

Razão Benefício Custo (B/C)

O B/C dos projetos analisados neste trabalho foi maior que um. Este indicador, também, mostra que os projetos são viáveis. A razão B/C do projeto do forno container foi igual a 1,33, indicando que os custos superaram as receitas, em 33%. No caso do forno retangular, os custos superaram as receitas em 32%, uma vez que esta relação foi da ordem de 1,32%.

Benefício custo periódico equivalente (B(C)PE)

Os resultados encontrados para o B(C)PE indicam que os dois projetos de fornos considerados para análise são viáveis, uma vez que se apresentaram positivos. O valor do B(C)PE representa o lucro anual do empreendimento. Sendo assim, o lucro anual do projeto do forno container e do forno retangular foi, respectivamente, de R\$ 1.847.547,48 e R\$ 1.533.230,05.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Os dados do experimento foram fornecidos pela CIAFAL (Comércio e Indústria de Artefatos de Ferro e Aço Ltda), localizada na cidade de Divinópolis, no Estado de Minas Gerais. O sistema do forno container industrial da empresa é constituído das seguintes partes: quatro poços isolantes, doze containeres metálicos, sistema de movimentação de carga, acoplados a um queimador de fumaça, um secador de lenha. O forno retangular se refere ao modelo com capacidade de quarenta estéreos.

Neste trabalho, avaliou-se o desempenho de uma instalação de doze fornos tipo container, com capacidade individual de 8 st de lenha, através dos parâmetros operacionais da carbonização, como: taxa de aquecimento, temperatura final média e tempo de carbonização, análise química imediata (teor de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas) e rendimento gravimétrico; fez-se a análise econômica e financeira dos fornos container industrial e retangular de quarenta estéreos para um projeto de cem unidades.

O trabalho permitiu concluir que:

A taxa de aquecimento não afetou o rendimento gravimétrico;

O tempo de carbonização no forno container foi de 17,6 horas.

O rendimento gravimétrico foi de 37% indicando que a produção de carvão vegetal pelo forno container tem um sistema eficiente e um bom rendimento.

Os projetos dos fornos container industrial e retangular de 40 st são viáveis financeiramente e economicamente, ou seja, são viáveis a curto e a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M.R.; REZENDE, M.E.A. **O Processo de carbonização contínua da madeira.** 1982. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 393p.

ALMEIDA, J.M. **Efeito da Temperatura sobre rendimento e propriedades dos produtos da carbonização de *Eucalyptus grandis* w.Hill ex. Maidem.** 1983. 40p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6923/81, NBR 5734/83, NBR 8112/83.** Rio de Janeiro. 1983.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2015-66, ASTM D-167-73, D-1762-64,** Philadelphia, Pa: American Society for Testing and Materials.

BARBOSA, J.A. 1986. **Avaliação qualitativa do carvão vegetal dos condensados produzidos na carbonização de madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora* DC.).** 1986. 52p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BARCELLOS, D.C. **Forno Container para produção de carvão vegetal: desempenho, perfil térmico e eliminação da poluição.** 2002. 75p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

BASTOS FILHO, J.G. **Desenvolvimento e teste de um forno metálico para carbonização de madeira.** 1986. 37p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia aplicada. **Informativo Mensal - Setor florestal** n° 37. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br/florestal/ (Acesso em janeiro 2005).

COTTA, A.M.G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia.** 1996.35p. Monografia – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa –MG.

FERGUSON, C. E. **Teoria microeconômica.** Rio de Janeiro, Forense –

Universitária, 1987. 610 p.

FERREIRA, L. H. C. **Desenvolvimento de uma retorta metálica para carbonização de madeira.** 1988.47p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

FERREIRA, O. C. **Emissão de gases de efeito estufa na produção e consumo do carvão vegetal.** 2000. In: Economia e Energia. Ano III. Setembro/Outubro. <http://ecen.com/eee21/emiscar.htm> (Acesso em agosto de 2004).

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia. **A siderurgia brasileira no ano de 2003.** 2003. Disponível, em: http://www.isb.org.br/resultado_2003.htm. (Acesso em agosto de 2004).

INFOENER – Sistema de Informações Energéticas. **Carvão vegetal no Brasil.** Disponível em: http://infoner.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_carvao.asp. (Acesso em maio de 2004).

LIMA, M. P. Estoque: **Custo de oportunidade e impactos sobre os indicadores financeiros.** SD. Disponível em: http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs_busca.html_financeiroestoque.htm.> (Acesso em: março de 2005).

MARRI, A.; OLIVEIRA; J. B. de MENDES, M. G.; GOMES, P. A. **Manual de construção e operação de fornos de carbonização.** 1982. Belo Horizonte. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 55p.

MATARELLI, A. F.; LOPES, L. E. F.; CASTRO, L. F. A de MELLO, M. G. **Produção de metais com biomassa plantada. In: Biomassa Energia dos Trópicos em Minas Gerais.** 2001. Belo Horizonte - MG. Editora UFMG. 178p.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal.** 1982. In: produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte – MG. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. 393p.

MOREIRA, C.S. **Contribuição ao estudo da eficiência de pequenos fornos na produção de carvão vegetal destinado a alto forno.** 1964. 98p. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo/Esalq. Piracicaba - SP.

OLIVEIRA, J. B. de VIVAQUA FILHO, A; GOMES P. A. **Produção de carvão**

vegetal. 1982. Aspectos técnicos. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais -CETEC. 393p.

OSSE, L. **Estudo comparativo entre fornos de superfície e de encostas para fabricação de carvão vegetal**. Rev. Brasil Florestal, 3 (12)29-32, 1972.

PINHEIRO P. C. C. e SAMPAIO. **Fornos de carbonização utilizados no Brasil**. 2001. In: Primeiro Congresso Internacional de Uso da Biomassa Plantada para Produção de Metais e Geração de Eletricidade. Versão em CD-ROM - Belo Horizonte – MG.

RAAD, T. J. **Instrumentação dos fornos industriais da V & M florestal 2000**. In: Melhoria Contínua da Carbonização da Madeira. Seminário Interno Vallourec & Mannesmann Tubes. Paraopeba – MG. 32p.

REZENDE, J. L. P. & OLIVEIRA, A. D. **Avaliação econômica e social de projetos florestais**. 2001. UFV. Viçosa: 389 p.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R.W.; JAFFE, J.F. **Administração Financeira**. 1995. Tradução de Antônio Zoratto Sanvicente. São Paulo, Editora Atlas S.A. 698p.

SAMPAIO, R.S.; MELLO, M.G. **Produção de metais com biomassa plantada**. In: **Biomassa Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. 2001. Belo Horizonte – MG. Editora UFMG. 178p.

SILVA, M.L; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia Florestal**. 2002. Viçosa: UFV, Imprensa universitária, 178p.

SILVIMINAS – Associação Mineira de Silvicultura. **Anuário estatístico**. 2003. Disponível em: <http://www.Silviminas.com.br> (Acesso em 30 de agosto de 2004).

TRUGILHO, P. F. **Influência do tempo de funcionamento da câmara de combustão, no rendimento da carbonização, em forno de alvenaria**. 1988. 58p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG.

VALE do A. T. **Estudos do comportamento das madeiras de Angico vermelho (*Piptadenia pergrina Benth*) e Jacaré (*Piptadenia comunis Benth*). Quanto à produção de carvão vegetal e de subprodutos da carbonização**. 1988. 79p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

VALENTE, O. F. **Carbonização de madeira de eucalipto**. 1986. Informe

Agropecuário 141: 74-79p.

VALENTE, O. F. e LELLES, J. G. de **Carbonização da madeira**. 1983. In: Masuda, H. (ed). Carvão e coque aplicados à metalurgia. São Paulo, ABM, p.85-151.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. 1984 Viçosa, MG, SIF, 21p. (Boletim Técnico, 1).

ZUCHI, P. S. **A evolução na produção de carvão vegetal e suas repercussões na produtividade e qualidade do carvão, nas condições de trabalho**. 2001. 143p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Belo Horizonte – MG.

APÊNDICE

Figura 1A - Tampa do container.



Figura 2A – Vista geral do queimador de fumaça.

