



**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
CARVÃO VEGETAL EM FORNOS CIRCULARES COM BAIXA EMISSÃO DE  
POLUENTES**

**AUTORES:**

Profª Drª Angélica de Cássia Oliveira Carneiro

Artur Queiroz Lana

Aylson Costa Oliveira

Bárbara Luísa Corradi Pereira

Thiago Taglialegna Salles

Centro de Pesquisas em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ

Viçosa, 30 de outubro de 2012

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
<b>2.1. Utilização de eucalipto para produção de carvão vegetal</b> .....	4
<b>2.2. Produção de carvão vegetal no Brasil</b> .....	5
<b>2.3. Fornos de alvenaria para produção de carvão vegetal</b> .....	6
<b>2.4. Aspectos ambientais da produção de carvão vegetal</b> .....	9
<b>2.5. Fornalhas para queima de gases da carbonização</b> .....	12
<b>3. SISTEMA FORNO-FORNALHA</b> .....	12
<b>3.1. Descrição do sistema forno-fornalha</b> .....	12
<b>3.2. Processo de carbonização</b> .....	15
<b>3.3. Combustão dos gases da carbonização na fornalha</b> .....	17
<b>3.4. Rendimento gravimétrico e qualidade do carvão vegetal</b> .....	17
<b>3.5. Recomendações para futuros estudos</b> .....	18
<b>4. ANÁLISE ECONÔMICA</b> .....	18
<b>4.1. Metodologia Utilizada</b> .....	19
<b>4.1.1. Indicadores para análise econômica e financeira</b> .....	19
<b>4.1.2. Cenários</b> .....	20
<b>4.2. Resultados</b> .....	24
<b>4.2.1. Análise Econômica e Financeira – Cenário 1</b> .....	24
<b>4.2.2. Análise Econômica e Financeira – Cenário 2</b> .....	27
<b>4.2.3. Análise Econômica e Financeira – Cenário 3</b> .....	31
<b>4.2.4. Análise Econômica e Financeira – Cenário 4</b> .....	34
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética nos últimos anos, associada ao aumento do preço do petróleo, à preocupação ambiental e à necessidade de preservação dos fragmentos florestais restantes, exige que qualquer cadeia produtiva que utiliza recursos naturais busque não somente a ampliação, mas principalmente maior eficiência durante a exploração ou produção, para garantir o suprimento energético aliado à manutenção da qualidade dos recursos naturais.

Para se adequar a essa realidade têm-se buscado, na cadeia produtiva de carvão vegetal, a modernização e a melhoria da tecnologia empregada na conversão da madeira em carvão, como também substituir a matéria-prima oriunda da mata nativa por madeira do gênero *Eucalyptus* obtida em florestas plantadas, alcançando, assim, maior qualidade e homogeneidade do produto.

No Brasil o carvão vegetal destina-se quase que exclusivamente ao setor siderúrgico, para redução do minério de ferro e produção de ferro-gusa, aço e ferro-liga. Um porcentual menor é destinado à indústria cimenteira e ceramista, ao uso comercial em churrascarias e padarias, além do uso residencial para cocção de alimentos e aquecimento.

O rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal são influenciados pelas propriedades da madeira e pela tecnologia empregada no processo de carbonização. No que se refere à madeira, a implantação de florestas plantadas e a seleção de espécies de eucalipto possibilitaram a redução na variabilidade das propriedades da madeira, refletindo no aumento do rendimento em carvão vegetal e na melhora de suas propriedades. Contudo, a maior parte da produção brasileira de carvão vegetal é realizada por pequenos e médios produtores que produzem carvão vegetal em fornos rudimentares.

Os fornos de alvenaria mais utilizados no Brasil apresentam baixos rendimentos gravimétricos de conversão da madeira em carvão vegetal e emitem grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera, gerando um grande passivo ambiental e perda de energia. Isto ocorre porque o controle da carbonização acontece de maneira subjetiva, por meio da experiência do carbonizador, que se baseia na coloração dos gases e na temperatura externa do forno obtida pelo seu tato, e pela inexistência de qualquer medida de controle das emissões nesses fornos.

Considerando esses aspectos, tem-se observado maior interesse em estudos a respeito do aproveitamento dos gases da carbonização através da sua combustão em fornalhas ou

queimadores. Pretende-se ainda alcançar, ao mesmo tempo, a melhoria do ambiente de trabalho e a obtenção de energia térmica para sua utilização na secagem de lenha, ou mesmo para produção de energia elétrica. Contudo, para que estas tecnologias sejam implantadas pelos produtores de carvão vegetal, elas devem ser eficientes e, principalmente, de baixo custo.

Visando atender à demanda por tecnologias mais eficientes, de maior durabilidade e de menor custo para conversão de madeira em carvão, buscou-se, neste trabalho, avaliar um sistema forno-fornalha para reduzir as emissões atmosféricas e maximizar o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, além de analisar sua viabilidade econômica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Utilização de eucalipto para produção de carvão vegetal**

A madeira utilizada para a produção de carvão tem duas origens básicas: florestas nativas, das quais as espécies florestais são abatidas, e florestas plantadas que, no Brasil, em sua grande maioria, são espécies do gênero *Eucalyptus*.

Segundo Shumacher e Poggiani (1993), no Brasil, a implantação de maciços florestais formados, em maior parte, por espécies exóticas, é consequência da evolução de toda uma estrutura industrial que tem como objetivo atender à demanda das regiões mais desenvolvidas do país.

O *Eucalyptus* é caracterizado pela elevada plasticidade, ou seja, grande capacidade de adaptações às condições ambientais (ANDRADE, 1993). O autor menciona, ainda, que, além da grande plasticidade, o gênero também se destaca pelo rápido crescimento, devido ao grande avanço das práticas silviculturais, ao manejo e, principalmente, ao melhoramento genético das espécies.

Atualmente, as principais espécies de *Eucalyptus* utilizadas no Brasil para a produção de carvão vegetal são *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla*, assim como seus híbridos.

Considerando o potencial do eucalipto como produtor de madeira de qualidade e que há condições ambientais e conhecimentos silviculturais suficientes para dar ao país vantagem comparativa na produção de matéria-prima oriunda de florestas renováveis, a seleção de espécies para florestas energéticas de *Eucalyptus* spp. tem sido realizada com base nas

pesquisas das propriedades tecnológicas da madeira, visando homogeneizá-las e melhorar os rendimentos em carvão, teor de carbono, densidade do carvão e outras propriedades almejadas na sua utilização como termorreductor (SANTOS, 2010).

No entanto, os plantios florestais de *Eucalyptus* não são capazes de suprir toda a demanda de carvão vegetal das empresas, uma vez que cerca de 55,0% da produção brasileira de carvão vegetal ainda é proveniente de madeira de florestas nativas, cuja tendência é ser substituída por madeira de florestas plantadas, devido ao aumento das pressões sociais na preservação dos recursos naturais e ao crescimento das restrições legais (ABRAF, 2011). De acordo com um estudo realizado pela Associação Mineira de Silvicultura (AMS, 2009), estima-se que o déficit de florestas plantadas no Brasil para produção de carvão vegetal seja de aproximadamente 600 mil hectares, considerando-se as diferentes rotações em que se encontram os povoamentos e sua produtividade.

## **2.2. Produção de carvão vegetal no Brasil**

De acordo com o BEN, no ano-base de 2010 (EPE, 2011), do total de lenha produzida no Brasil 33% foram transformados em carvão vegetal, 2% foram usados diretamente para geração de energia elétrica e os 65% restantes consumidos nos setores industrial, agropecuário e residencial.

Por vários anos a produção brasileira de carvão vegetal utilizou madeira oriunda da exploração da vegetação nativa como matéria-prima. O investimento em florestas plantadas possibilitou o desenvolvimento da cadeia produtiva do carvão.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2011), o Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, e os principais consumidores são os setores de ferro-gusa, aço e ferros-liga, e em menor escala as indústrias de cerâmica e de cimento, o comércio e o consumidor residencial.

O Brasil é o único país que produz carvão vegetal em larga escala para ser utilizado na indústria, destacando-se, então, como maior produtor e consumidor de carvão vegetal. Ressalta-se que o consumo do carvão vegetal está basicamente concentrado no mercado interno. Os principais destinos são os setores de ferro-gusa e aço, que consomem 72% do carvão vegetal produzido, e de ferro-liga, que utiliza 12%, seguido do residencial (cocção e aquecimento residencial), do industrial (excluindo-se a siderurgia), com destaque para a produção de cimentos, indústria química, de alimentos e de cerâmicas (EPE, 2011). De acordo

com Resende e Santos (2010), estima-se que, no Brasil, aproximadamente um terço da produção de ferro-gusa e mais da metade da produção de ferro-liga utilizam carvão vegetal como termorreduzidor.

### **2.3. Fornos de alvenaria para produção de carvão vegetal**

A escolha do tipo, da quantidade e do tamanho dos fornos a serem construídos em uma propriedade, varia de acordo com a quantidade de madeira disponível, tecnologia de carbonização adotada e recursos financeiros.

Normalmente pequenos e médios produtores de carvão vegetal utilizam fornos de pequena capacidade volumétrica, máximo 20 estéreos de madeira enformada, devido aos custos com maquinário e também com a construção de fornos com maiores dimensões.

Segundo Brito (2010), 60% dos fornos utilizados são do tipo “rabo-quente”; 10% são fornos de superfície; 20% da produção ocorrem em fornos retangulares e os 10% restantes são realizadas por outras tecnologias.

#### **Forno “rabo quente”**

O modelo mais simples de forno de alvenaria e mais difundido entre os pequenos produtores é o forno denominado “rabo-quente”.

Sua construção é recomendada para áreas planas, e na sua parede são deixados orifícios para a entrada de ar e saída dos gases gerados. Esses fornos são de baixo custo e fácil manuseio, porém apresentam baixo rendimento e elevada emissão de poluentes.

O progresso da carbonização é avaliado pela coloração dos gases liberados através de orifícios, e o controle ocorre pelo fechamento progressivo das entradas de ar. O processo completo tem duração de sete dias, sendo três dias para carbonizar, três para resfriar e um dia para descarga e carregamento do forno.

O controle subjetivo da carbonização impossibilita o controle adequado da temperatura interna do forno, prejudicando a qualidade do carvão vegetal e elevando a produção de madeira semicarbonizada (atiço). O forno “rabo-quente” apresenta baixo rendimento gravimétrico, variando de 20 a 27%, devido ao excesso de queima da madeira e de suas características rudimentares (Mendes et al., 1982).

## **Forno de encosta**

O forno de encosta é bastante utilizado nas regiões de topografia acidentada, com diâmetro entre 3 a 4 m e altura entre 2,5 a 2,8 m, podendo ter de uma a três chaminés. Para sua construção aproveita-se o desnível natural do terreno, apoiando a cúpula sobre a borda do mesmo, que assume a função de parede do forno, reduzindo a quantidade de material utilizado na construção.

Os fornos de encosta atingem até 32% de rendimento em carvão vegetal, e este rendimento satisfatório ocorre porque a maior parte do forno está em contato direto com o solo, havendo menores perdas térmicas para o ambiente, o que aumenta a eficiência da carbonização. No entanto aumenta o ciclo de produção devido ao resfriamento ocorrer mais lentamente.

O controle da carbonização no forno de encosta baseia-se na quantidade e coloração dos gases emitidos pelas chaminés.

## **Forno de superfície**

Os fornos de superfície apresentam estrutura semelhante à do forno “rabo-quente”, tendo como inovação a presença de uma chaminé com tiragem central dos gases gerados durante a carbonização da madeira, melhorando as condições térmicas e o fluxo de gases no interior do forno, além do número reduzido de aberturas ao longo do forno.

O diâmetro central pode variar de 3 a 8 metros, sendo o de 3,5 metros o mais comum; a altura central varia de 2,3 a 5 metros. Em virtude de suas características construtivas, os fornos de superfície apresentam melhores condições para propagação da carbonização, que ocorre de maneira mais homogênea devido ao maior controle do operador.

A operação nesses fornos é mais simples, pois os gases são expelidos somente pela chaminé e o acompanhamento do processo de carbonização pode ser avaliado pela temperatura externa e inspeção visual das aberturas para entrada de oxigênio. O forno de superfície apresenta rendimento gravimétrico variável de 28 a 34%. (Mendes et al., 1982).

Diversas alterações no forno de superfície foram realizadas com o intuito de melhorar o processo de produção de carvão vegetal, modificando o posicionamento e número de entradas

de ar, a dimensão e posição da chaminé e a adaptação de câmara de combustão externa ao forno.

O forno de superfície com câmara de combustão externa é um derivado do forno de superfície tradicional. A função da câmara externa é fornecer por meio da queima de materiais lignocelulósicos como lenha, cascas, galhos e atíço de outras carbonizações, o calor necessário para a transformação da madeira em carvão vegetal. O calor gerado é direcionado por ductos até o interior do forno. Não havendo queima da madeira no interior do forno e melhor aproveitamento do espaço interno, o sistema apresenta maior rendimento gravimétrico.

O forno JG<sup>®</sup> é uma variação do forno de superfície. Atualmente é o forno mais difundido entre os pequenos e médios produtores de carvão vegetal, devido ao seu elevado rendimento gravimétrico, à vida útil razoável e ao custo acessível, se comparado ao dos demais fornos de menor capacidade volumétrica.

### **Forno MF1-UFV**

O forno MF1-UFV foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a empresa ArcelorMittal. Trata-se de um forno em formato retangular com capacidade para carbonizar 8 m<sup>3</sup> de madeira, acoplado a uma fornalha para combustão de gases gerados durante a o processo de carbonização.

A entrada de ar no forno ocorre através de quatro aberturas de cada lado, e o controle da carbonização é realizado a partir da temperatura obtida por termopares instalados na cúpula do forno.

O forno MF1-UFV apresenta rendimento gravimétrico médio de 29% e teores de atíço e finos de carvão vegetal inferiores a 4% (Cardoso, 2010). A queima dos gases combustos pela fornalha reduz a emissão de metano (CH<sub>4</sub>) e de monóxido de carbono (CO) para a atmosfera em 94 e 97%, respectivamente, durante a carbonização da madeira.

### **Forno circular com queimador**

Em uma parceria envolvendo a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Associação das Siderúrgicas para Fomento Florestal (ASIFLOR) e a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG/SECTES/POLO DE FLORESTA), foi acoplado a fornos circulares



de superfície ductos para condução de gases e fornalha para queima dos mesmos. Tal sistema foi avaliado por Oliveira (2012) e a análise técnica e econômica deste forno é o objetivo do presente trabalho.

Cada forno tem capacidade de enforamento de 12st (9m<sup>3</sup>) de madeira e estão conectados a uma fornalha de alvenaria onde é realizada a combustão dos gases gerados durante a carbonização da madeira. A chaminé, com 2,90 metros de altura, foi construída sobre a fornalha. Para auxiliar na manutenção do calor dentro do forno e eliminar possíveis entradas de ar, os fornos, fornalha e chaminé foram emboçados com uma mistura de argamassa refratária e areia lavada. Utilizou-se também uma cinta metálica e barra de ferro rosqueada na base da cúpula para proporcionar maior durabilidade aos fornos, evitando a expansão das paredes dos fornos, ocasionada pela pressão exercida pelos gases gerados durante a carbonização.

O ciclo completo de carbonização é de aproximadamente seis dias, sendo que a carbonização tem duração média de três dias.

A combustão dos gases ocorre durante um terço do tempo total de carbonização, reduzindo quase que integralmente os gases de efeito estufa, principalmente metano (CH<sub>4</sub>) e óxido de carbono (CO). Esta tem sido a alternativa mais interessante para aproveitamento dos gases gerados na carbonização, proporcionando, ao mesmo tempo, a melhoria do ambiente de trabalho e a obtenção de energia térmica para sua utilização na secagem de lenha ou mesmo para a produção de energia elétrica.

O rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal neste sistema é de 33%, com o carvão apresentando características adequadas para uso industrial e doméstico.

#### **2.4. Aspectos ambientais da produção de carvão vegetal**

Grande parte da produção brasileira de carvão vegetal ainda ocorre como no século passado. Porém, atualmente, novas e diversas tecnologias estão disponíveis permitindo uma produção mais sustentável e mais preocupada com o meio ambiente e as condições de trabalho.

Notoriamente, sabe-se que o carvão vegetal representa para o país a realidade de uma rota de produção de ferro gusa mais sustentável em relação a produção deste mesmo insumo com o coque, em relação a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), pois apesar de haver emissões processuais de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) durante carbonização da madeira e na redução

do minério de ferro, diferentemente do coque, ele é reabsorvido pela fixação do carbono na biomassa florestal. Essa rota menos poluidora coloca a siderurgia brasileira em posição privilegiada no que se refere às emissões atmosféricas, favorecendo que ela esteja à frente quanto à adoção de metas setoriais para a redução de GEE.

Todavia, ressalta-se que infelizmente a produção de carvão vegetal atualmente é realizada em fornos tradicionais (rudimentares) que apresentam baixo rendimento gravimétrico resultando em perda econômica expressiva, além de uma maior demanda de madeira e conseqüentemente de área plantada para atender a uma mesma demanda. Além disso, não há um controle eficiente da carbonização, já que este é baseado em fatores subjetivos, como a cor da fumaça, e sem recuperação de subprodutos, com aproveitamento energético destes e conseqüente redução da poluição.

A inexistência de políticas públicas nacionais ou regulamentação ambiental que estimulem o emprego de tecnologias voltadas à redução de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal, a resistência do setor produtivo no sentido do aperfeiçoamento das tecnologias adotadas na produção e os custos associados às mudanças na infra-estrutura das unidades de carbonização limitam fortemente a modernização da indústria de carvão vegetal no Brasil (DUBOC, 2007).

O resultado global das emissões de GEE pelo setor de produção de carvão vegetal, calculadas para o ano de 2006, foram de 12 Mt de CO<sub>2</sub>eq, o que representou 3,61% do total de emissões da matriz energética brasileira no mesmo ano, que foram de 332,42 Mt de CO<sub>2</sub>eq (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2010).

Segundo Pimenta e Barcellos (2004), vários subprodutos podem ser obtidos da carbonização da madeira via condensação de fumaças ou mesmo promover-se à queima integral das emissões, e com isso reduzir ou eliminar a liberação de compostos poluentes para a atmosfera.

Os compostos orgânicos condensáveis ou COC são os principais compostos poluentes presentes na fumaça da carbonização. Durante o processo de carbonização ocorre a decomposição térmica da madeira, e parte da fumaça proveniente do leito de reação pode ser condensada, e com isso obtém-se o licor pirolenhoso. Este licor, por decantação, é separado em duas fases, uma aquosa, contendo álcoois, cetonas e vários compostos voláteis de baixo peso molecular; e outra fase viscosa chamada alcatrão vegetal composta de água, fenóis voláteis (creosoto de madeira) e piche (CASTRO, 1982).

A fração perdida como gases não condensáveis, resultantes da combustão incompleta da madeira, é constituída, prioritariamente, por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ). Como o  $\text{CO}_2$ , que contribui com 58% em volume do total dos gases não-condensáveis liberados, não é contabilizado no processo de produção de carvão vegetal, o  $\text{CH}_4$  assume o papel de gás com potencial de reter calor na superfície terrestre (GEE). O monóxido de carbono, por sua vez, afeta indiretamente esse processo por participar de reações fotoquímicas que alteram os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera. A presença de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), na fumaça da carbonização é comprovadamente muito pequena, estando abaixo dos limites de detecção dos métodos convencionais de avaliação de efluentes gasosos (JUVILLAR, 1982).

Os gases da carbonização são substâncias combustíveis ricas em carbono e hidrogênio que, sob condições adequadas de temperatura e pressão, são capazes de, na presença de oxigênio, sofrer reações químicas, ocorrendo a liberação de energia sob a forma de luz e calor. Em uma combustão completa, as emissões seriam constituídas apenas de  $\text{CO}_2$ , vapor de água e particulados não-queimados.

Diante disso, percebe-se que o processo de combustão desses gases é uma alternativa viável para a sustentabilidade da produção do carvão vegetal, pois segundo Colombo et al (2006) gera um adicional de calor suficiente para a secagem da lenha e reduz substancialmente os fumos e a poluição atmosférica pela queima completa dos pirolenhos, alcatrão não solúvel e a parte combustível dos gases não condensáveis, diminuindo a necessidade de madeira em 25% a 30% para obtenção da mesma quantidade de carvão. Esse aumento do rendimento gravimétrico conseguido é mais um fator, que por si só já contribui para a redução das emissões, comprovado por vários estudos que demonstram uma relação linear negativa entre as emissões de  $\text{CH}_4$  e o rendimento gravimétrico na produção de carvão vegetal.

Já existem tecnologias desenvolvidas para a construção de fornos que promovam a queima dos gases produzidos na carbonização, uma vez que são acoplados a um dispositivo denominado fornalha. Estas são projetadas para assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, visando o aproveitamento da energia liberada, com o maior rendimento térmico possível.

## **2.5. Fornalhas para queima de gases da carbonização**

Com o objetivo de diminuir as emissões de gases gerados durante a carbonização para a atmosfera, tem sido realizada a combustão desses em queimadores de gases ou fornalhas. Queimadores ou fornalhas são dispositivos projetados visando à maior eficiência da combustão e possibilidade de aproveitamento da energia térmica liberada durante o processo de combustão (MAGALHÃES, 2007).

Estes dispositivos são projetados para assegurar a queima completa do combustível, de modo eficiente e contínuo, visando ao aproveitamento de sua energia térmica liberada da combustão, com o maior rendimento térmico possível.

Os queimadores acoplados 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 e contribuem para o processo de carbonização, auxiliando na tiragem de gases do interior do forno para a fornalha em função da pressão negativa gerada no sistema pela chaminé do queimador.

Durante as primeiras horas de carbonização, ocorre maior liberação de vapor de água e CO<sub>2</sub> sendo necessário a queima de resíduos lignocelulósicos no queimador para fornecimento de energia para a combustão destes gases, quando se deseja evitar a liberação de gases para o ambiente, reduzindo assim, a poluição visual das unidades produtoras de carvão vegetal.

A combustão destes gases gera um adicional de calor suficiente que pode ser aproveitado na geração de energia elétrica, acoplando-se à saída da chaminé uma caldeira, por exemplo, para transformação da água em vapor, e este, direcionado a uma turbina ligada a um gerador de eletricidade.

Pode-se também direcionar o calor para a secagem da madeira a ser utilizada na produção de carvão vegetal, reduzindo a umidade da madeira enforada, normalmente variando de 40 a 50% para valores próximos a 22%.

## **3. SISTEMA FORNO-FORNALHA**

### **3.1. Descrição do sistema forno-fornalha**

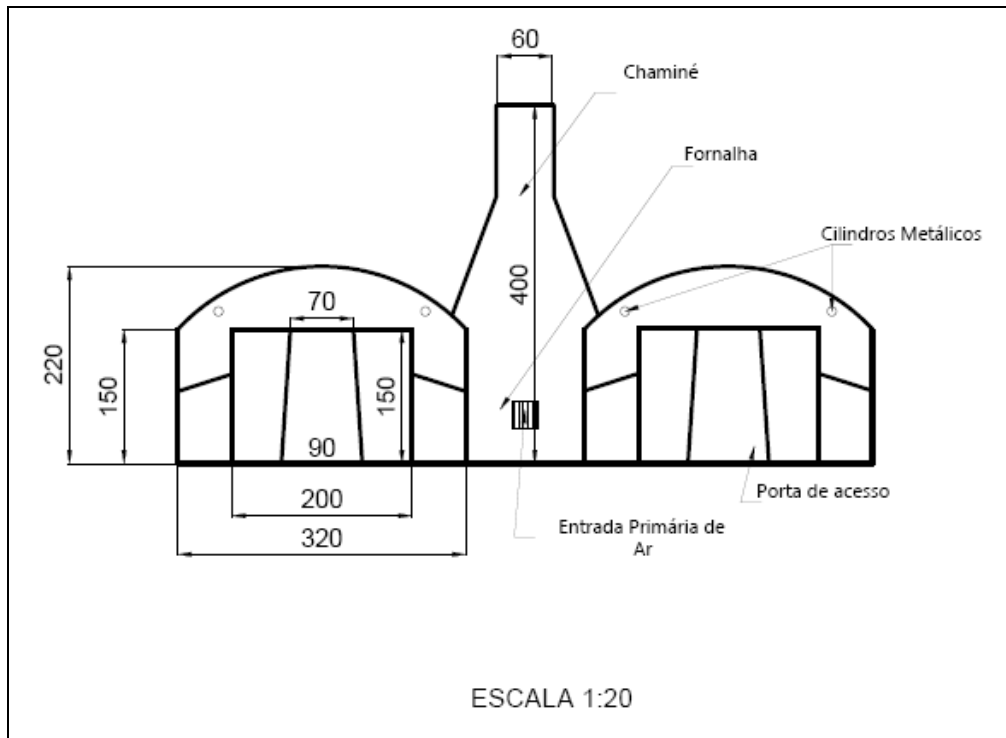
Este sistema forno-fornalha foi concebido através de uma parceria entre Universidade Federal de Viçosa, SECTES (Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais), Pólo de Excelência em Florestas e ASIFLOR (Associação das Siderúrgicas para Fomento Florestal). O forno para adaptação a fornalha e os ductos para condução dos

gases é um forno circular de superfície, de alvenaria, dotado de seis controladores de ar na sua base. Optou-se por esse tipo de forno para receber os ductos e a fornalha por ser ele de baixo custo (Tabela 1), de fácil construção e bastante difundido entre os pequenos e médios produtores de carvão vegetal.

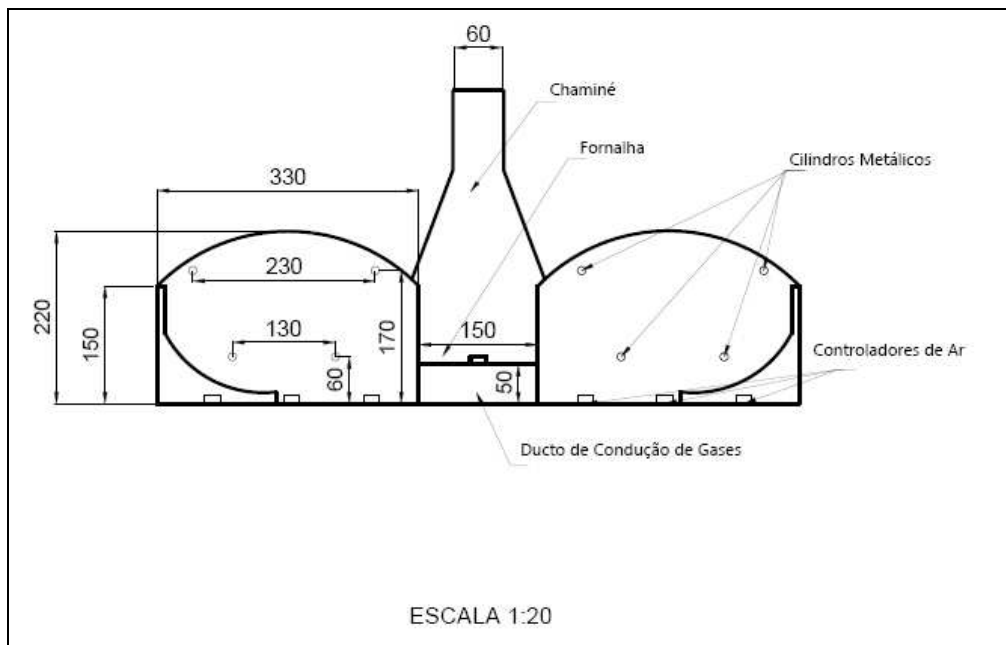
**TABELA 1:** Custos do sistema forno-fornalha para 4 fornos circulares, um queimador de gases e uma chaminé

Insumos	Especificações	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Total (R\$)
Tijolos-Forno	Tijolo de barro queimado	13.580	0,16	2.172,80
Tijolos-Fornalha	Tijolo de barro queimado	1.000	0,16	160,00
Tijolos-Chaminé	Tijolo de barro queimado	1.380	0,16	220,80
Tijolos-Conexões	Tijolo de barro queimado	700	0,16	112,00
Argamassa de Terra e Água	Ponto de liga			
Manta Cerâmica (m)	Isolamento térmico	5	40,00	204,00
Gabaritos de Madeira	Confecção da porta e diâmetro circular do forno	2		
Cinta Metálica para os Fornos	3/8, comprimento: 9,95 m	4	17,95	71,80
Roscas e porcas	Travamento da cinta	4	2,80	11,20
Cinta Metálica para a Fornalha	3/8, comprimento: 2,55 m	1	4,50	4,50
Roscas e porcas	Travamento da cinta	1	2,80	2,80
Barra de ferro rosqueada	3/8, utilizada para travar cinta, comprimento: 0,3m	5	4,00	20,00
Cantoneira	Tipo U, comprimento: 1,00 m	4	10,00	40,00
Chapas metálicas das conexões	Chapa de ferro preto 3/16 (guilhotina)	4	60,00	240,00
Medidor infravermelho de temperatura	Medição de temperatura do forno	1	210,00	210,00
Poços Metálicos	Medição de temperatura no forno, 8 por forno	32	10,00	320,00
Mão-de-obra (dias)	1 pedreiro e 1 ajudante	4	150,00	600,00
<b>Total</b>				<b>4.389,90</b>

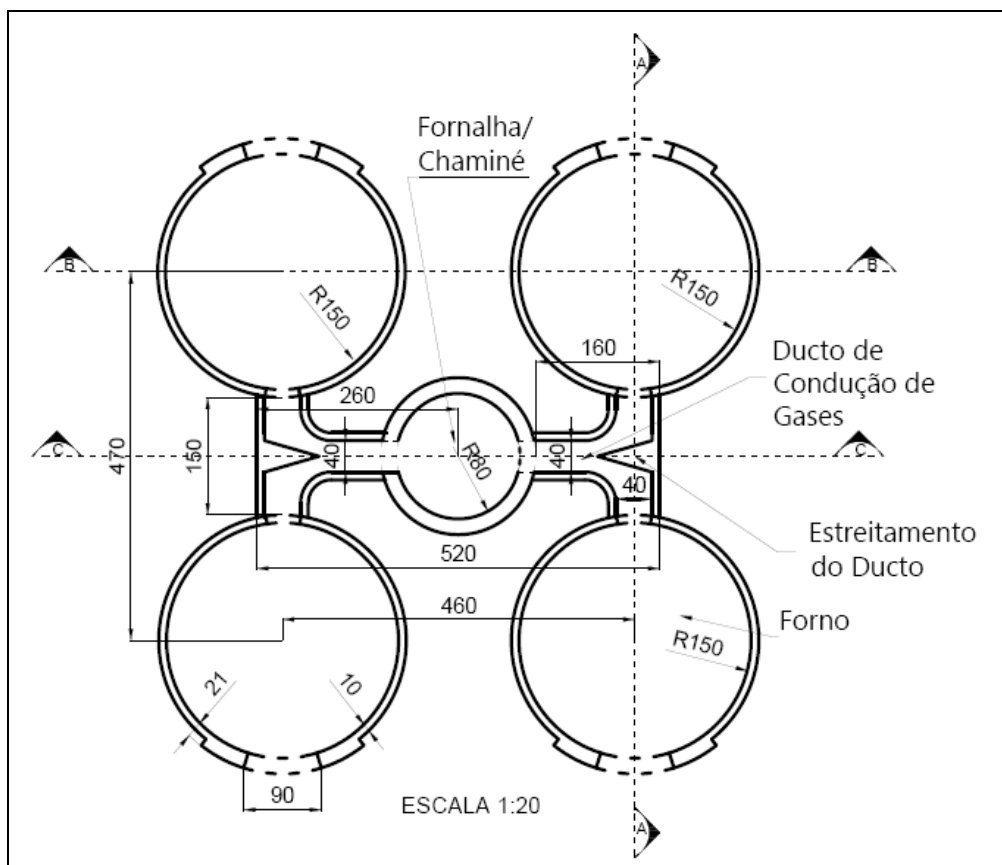
Nas Figuras 1, 2 e 3 estão os detalhamentos e o projeto do sistema forno-fornalha.



**Figura 1** – Vista frontal do sistema forno-fornalha, com medidas em centímetros



**Figura 2** – Vista lateral do sistema forno-fornalha, com medidas em centímetros.



**Figura 3** – Planta baixa do sistema forno-fornalha, com medidas em centímetros.

### 3.2. Processo de carbonização

Na produção de carvão vegetal utilizando fornos conectados a uma fornalha não é possível o controle da carbonização pela coloração dos gases, pois eles são queimados liberando  $\text{CO}_2$ , calor e vapor de água, quando a combustão é completa. Logo, é necessário obter as temperaturas e o tempo para a carbonização da madeira, de modo a obter maior rendimento gravimétrico em carvão.

Na Tabela 2 estão as faixas teóricas de temperatura para o controle da carbonização da madeira nesse sistema forno-fornalha. Elas foram obtidas após a realização de testes preliminares, com base no tempo total de carbonização (70 horas), na constituição química da madeira e na degradação térmica dos seus principais componentes.

**Tabela 2** – Faixas teóricas de temperatura para controle da carbonização no sistema forno-fornalha, mensuradas na cúpula do forno

<b>Fase</b>	<b>Faixa de Temperatura</b>	<b>Tempo Manutenção</b>	<b>Fenômeno</b>
I	100-150°C	15-16 horas	Liberação de vapor de água – secagem da madeira, fase endotérmica
II	150-275°C	11-12 horas	Degradação das hemiceluloses, aumento da emissão de gases, fase endotérmica
III	275-400°C	23-24 horas	Degradação da celulose, grande produção de gases, da fase exotérmica. Formação do carvão vegetal
IV	400-450°C	17-18 horas	Redução da emissão de gases, fase exotérmica. Aumento da concentração de carbono no carvão vegetal

Observa-se, na Tabela 2, que a fase endotérmica tem duração média de 28 horas (40% do tempo total de carbonização), enquanto a fase exotérmica dura 42 horas, correspondendo a 60% do tempo de carbonização no sistema forno-fornalha.

No testes realizados neste sistema forno-fornalha o tempo de manutenção para a etapa de secagem da madeira é de aproximadamente 16 horas (23% do tempo total de carbonização) para madeira bastante úmida, com umidade média de 42,5%, base seca. Ressalta-se que a umidade da madeira tem grande influência sobre essa etapa, pois quanto maior a umidade inicial maior será o tempo necessário para eliminação de toda a água, acarretando assim no aumento da fase endotérmica do processo.

Havendo a possibilidade de utilizar madeira com umidade inferior 42,5%, o tempo dessa primeira etapa poderá ser reduzido, fato que acarretaria na diminuição do tempo total de carbonização, elevando a produtividade do sistema forno-fornalha.



### **3.3. Combustão dos gases da carbonização na fornalha**

O principal objetivo do acoplamento de uma fornalha a um sistema de produção de carvão vegetal é realizar a queima dos gases gerados no forno durante a carbonização da madeira, reduzindo, assim, as emissões de gases para a atmosfera e transformando a poluição em calor.

Cardoso (2010) realizou análise dos gases da carbonização com e sem a queima em fornalha, em processo similar ao sistema forno-fornalha, e concluiu que os gases de efeito estufa, principalmente metano e monóxido de carbono, foram reduzidos eficientemente pela utilização da fornalha, tendo a quantidade liberada diminuída em 96,95 e 93,76%, respectivamente. Este mesmo autor relata que a quantidade de material particulado liberado no processo de carbonização foi reduzida em 94,85%, outro ganho devido a utilização da fornalha, uma vez que melhora as condições de trabalho para o operador do forno, além de diminuir a poluição nas localidades, muitas vezes urbanizadas, próximas à unidade de produção de carvão vegetal.

A fornalha funciona adequadamente realizando a combustão dos gases gerados na carbonização durante um terço do tempo total de carbonização, sem a necessidade de abastecimento com resíduos lignocelulósicos, além de reduzir quase que a totalidade das emissões de gases para o ambiente.

### **3.4. Rendimento gravimétrico e qualidade do carvão vegetal**

Nas carbonizações cujo controle foi realizado com base nas faixas de tempo e temperatura apresentadas na Tabela 2, verificou-se que o sistema forno-fornalha proporcionou rendimento gravimétrico médio em carvão vegetal de 32%, sendo esse considerado satisfatório, pois os atuais fornos utilizados pelos pequenos e médios produtores de carvão vegetal apresentam rendimento médio de 25 a 30%. Em fornos de alvenaria do tipo “rabo-quente” o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, geralmente, alcança máximo de 27%. Cardoso (2010) obteve rendimento médio de 29% de carvão vegetal em carbonizações realizadas no forno MF1-UFV.

### **3.5. Recomendações para futuros estudos**

Recomendam-se novos estudos para o redimensionamento da fornalha e sincronização de fornos, com o objetivo de favorecer a manutenção da temperatura em seu interior, maximizar a queima de gases combustos da carbonização na fornalha e o aproveitamento da energia térmica gerada para a secagem da madeira ou fornecimento de energia elétrica.

Recomendam-se também estudos para determinação do número mínimo e posicionamento ideal dos cilindros metálicos para mensuração da temperatura interna do forno com o uso de um medidor infravermelho, no intuito de diminuir os custos de construção do forno e facilitar o manejo do produtor rural, quando este estiver realizando o controle da carbonização em um número maior de fornos.

Além disso, novas pesquisas para modelagem de curvas de carbonização para diferentes condições da madeira, tais como umidades, densidades e diâmetros são necessárias. Estabelecendo assim, faixas de controle da carbonização para as diferentes condições da madeira.

## **4. ANÁLISE ECONÔMICA**

Os empreendimentos visando à produção de carvão vegetal necessitam de estudos de viabilidade econômica, e essa está diretamente relacionada com o rendimento (quantidade de matéria-prima consumida em relação à quantidade de carvão produzido) dos fornos empregados para a sua produção, fator esse que depende obviamente da tecnologia de conversão utilizada.

Os pequenos e médios produtores optam por fornos de baixa capacidade volumétrica, devido ao elevado custo com maquinário e maior investimento inicial para a construção de fornos de maiores dimensões.

Assim, faz-se necessário uma análise de viabilidade econômica e financeira da produção de carvão vegetal em fornos com baixa emissão de poluente e de maior rendimento gravimétrico. E dentre as tecnologias disponíveis no mercado, o sistema forno-fornalha desenvolvido por Oliveira (2012) é que está mais acessível para atender os pequenos produtores no Brasil. Abaixo segue uma análise de viabilidade econômica comparando o uso desta tecnologia em comparação com os fornos “rabo-quente”.

#### 4.1. Metodologia Utilizada

##### 4.1.1. Indicadores para análise econômica e financeira

Foi considerado um horizonte de planejamento de 12 anos, contemplando dois cortes de madeira de *Eucalyptus* aos 6 anos. A taxa de juros empregada foi 5%, correspondente à taxa referencial do Programa ABC.

A análise econômica foi realizada através da determinação dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Razão Benefício – Custo (B/C).

O VPL é definido como a diferença positiva entre receitas e custos, atualizados para uma determinada taxa de desconto. Para um projeto ser viável o valor encontrado para este critério deve ser maior que zero (REZENDE e OLIVEIRA, 2008).

$$VPL = \sum_{j=0}^m R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^m C_j(1+i)^{-j}$$

Em que:  $R_j$  = receitas no período  $j$ ;  $C_j$  = custos no período  $j$ ;  $i$  = taxa de desconto;  $j$  = período de ocorrência de  $R_j$  e  $C_j$ ; e  $n$  = duração do projeto, em anos.

O VAE é uma parcela periódica e constante que paga o VPL da opção de investimento em análise ao longo do horizonte de planejamento. O VAE transforma o valor atual do projeto em um fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos. Valores positivos para este critério indicam a viabilidade do projeto, sendo que o projeto é tanto mais viável quanto maior for o VAE (REZENDE e OLIVEIRA, 2008). Com o período de capitalização anual, a fórmula de cálculo fica igual a:

$$VAE = \frac{VPL \times i}{[1 - (1+i)^{-n}]}$$

Em que: VPL = valor presente líquido;  $n$  = duração do projeto em anos;  $i$  = taxa de desconto.

A razão benefício-custo (B/C) é obtida pela razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos para uma dada taxa de desconto. A viabilidade do projeto é verificada quando o resultado é maior que 1 (REZENDE e OLIVEIRA, 2008).

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

Em que:  $R_j$  = receita no final do ano  $j$ ;  $C_j$  = custo no final do ano  $j$ ;  $i$  = taxa de desconto;  $n$  = duração do projeto, em anos.

Para a análise financeira, o indicador estimado foi a 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.

$$\text{Lucratividade} = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Receita Total}} \times 100$$

#### 4.1.2. Cenários

Para realização da análise econômica da produção de carvão vegetal, foram propostos quatro cenários, utilizando em ambos, um sistema fornos-fornalha e fornos “rabo-quente”.

Para os cenários 1 e 2 (Tabela 4), considerou-se um sistema fornos-fornalha composto por 4 fornos circulares de superfície com capacidade de 12 st de madeira, tendo rendimento gravimétrico médio de 32% por carbonização, e acoplados a uma fornalha para queima dos gases. Em relação aos fornos “rabo-quente”, foram considerados 5 fornos com capacidade de 12 st e rendimento gravimétrico médio igual 25% para atingir a produção mensal determinada, não havendo para estes fornos nenhuma medida de controle das emissões.

Foi definida uma produção mensal de carvão média igual a 65,45 metros cúbicos de carvão (mdc), o que corresponde a 785,4 mdc por ano, produção equivalente a de pequenos produtores, que deverá dispor de uma área de plantio de Eucalipto de cerca de 50-60 hectares.

**Tabela 4** - Informações referentes às carbonizações, consumo de madeira e produção de carvão vegetal dos cenários 1 e 2

<b>Variáveis</b>	<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
Número de fornos	4	5
Rendimento (%)	32,0	25,0
Vida útil (anos)	6	2
Fator de conversão (ST/MDC)	2,2	2,75
Carbonizações mensais	12	15
Consumo mensal de lenha (st)	144	180
Produção mensal de carvão (mdc)	65,45	65,45
Carbonizações anuais	144	180
Consumo anual de lenha (st)	1728	2160
Produção anual de carvão (mdc)	785,4	785,4

Nos cenários 3 e 4 (Tabela 5) o sistema fornos-fornalha consistiu em 8 fornos circulares de superfície com capacidade de 12 st de madeira e rendimento gravimétrico médio igual a 32% por carbonização, acoplados a uma fornalha para queima dos gases. Em relação aos fornos “rabo-quente”, foram considerados 10 fornos com capacidade de 12 st e rendimento gravimétrico médio de 25%, para atingir a produção mensal determinada.

A produção mensal de carvão foi igual a 131,0 mdc, resultando em uma produção anual de 1.571,0 mdc nestes cenários.

**Tabela 5** - Informações referentes às carbonizações, consumo de madeira e produção de carvão vegetal dos cenários 3 e 4

<b>Variáveis</b>	<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
Número de fornos	8	10
Rendimento (%)	32,0	25,0
Vida útil (anos)	6	2
Fator de conversão (ST/MDC)	2,2	2,75
Carbonizações mensais	24	30
Consumo mensal de lenha (st)	288	360
Produção mensal de carvão (mdc)	131	131
Carbonizações anuais	288	360
Consumo anual de lenha (st)	3.456	4.320
Produção anual de carvão (mdc)	1.571	1.571

Para os cenários 1 e 3 considerou-se que o produtor possui a área de plantio de eucalipto em idade de corte (6 anos) e, após feita a colheita do volume de madeira necessário à produção de carvão, é realizado o plantio de uma nova floresta. Para a reforma da floresta, há novamente todos os custos envolvidos na implantação: custos com muda, preparo do solo, adubação, etc.

Já nos cenários 2 e 4 a situação inicial é a mesma, mas após a colheita é feita a condução de brotação das cepas remanescentes do povoamento. Dessa forma, os custos da segunda rotação são menores, pois não há compra de mudas e preparo do solo, além de menor gasto com fertilizantes.

Para elaboração do fluxo de caixa dos diferentes cenários avaliados, considerou-se R\$35,18, como o custo do estéreo (st) de madeira para os cenários 1 e 3 ao longo dos 12 anos do projeto e para os 6 anos iniciais dos cenários 2 e 4; o valor de R\$ 21,00/st foi considerado com o valor de custo da madeira para os anos 7-12 dos cenários 2 e 4. Estes valores foram calculados segundo dados da Associação das Siderúrgicas para Fomento Florestal (ASIFLOR), de agosto de 2012, fornecidos pela própria entidade.

O valor de venda do carvão vegetal foi igual a R\$ 110,00 por mdc, preço médio para o Estado de Minas Gerais verificado em agosto de 2012 (CIFLORESTAS, 2012).

Para os cenários 1 e 2, o custo de construção do sistema fornos-fornalha com 4 fornos (incluindo os dutos, fornalha e chaminé) foi de R\$ 4.390,00, enquanto que a construção dos 5 fornos “rabo-quente” teve custo igual a R\$ 3.850,00. O custo mais baixo para os fornos “rabo-

quente” é consequência do menor número de tijolos utilizados na construção de cada forno, além de não haver construção de dutos, fornalha e chaminé.

Para os cenários 3 e 4, o custo do sistema fornos-fornalha com 8 fornos conectados a uma fornalha mais chaminé foi R\$ 8.295,70 e os 10 fornos “rabo-quente” custaram R\$5.700,00. Para estes cenários, em ambos os tipos de fornos utilizados, considerou-se a necessidade de mão-de-obra para auxiliar nas atividades de carbonização, no valor de R\$1.212,90 por mês (salário mínimo de R\$ 622,00, somado aos encargos sociais).

O custo anual de manutenção dos fornos foi igual a 5% sobre o valor total gasto na sua construção.

De acordo com os volumes de madeira necessários para a produção de carvão vegetal para o sistema fornos-fornalha e fornos “rabo-quente” nos quatro cenários analisados (Tabelas 4 e 5), determinou-se a área de plantio de eucalipto necessária para atender a demanda de madeira (Tabela 6). Para realização dos cálculos, considerou a densidade média da madeira de eucalipto igual a 450kg/m<sup>3</sup> e incremento médio anual de 31m<sup>3</sup>/ha/ano, e corte aos 6 anos.

**Tabela 6** – Área de plantio de eucalipto necessária para produção de carvão vegetal nos cenários propostos

<b>Cenários</b>	<b>Fornos</b>	<b>Área mensal de plantio (ha)</b>	<b>Área anual de plantio (ha)</b>	<b>Área total de plantio (ha)</b>
Cenários 1 e 2	Sistema Fornos-fornalha	0,6	7,2	43,2
	Fornos “Rabo-quente”	0,75	9,0	54,0
Cenários 3 e 4	Sistema Fornos-fornalha	1,2	14,4	86,4
	Fornos “Rabo-quente”	1,5	18,0	108,0

De acordo com a Tabela 6, para a produção de carvão vegetal no sistema fornos-fornalha conforme os cenários 1 e 2, o proprietário rural deverá dispor de uma área total mínima de aproximadamente, 43,2 hectares de plantio de eucalipto, com produtividade média de 186 m<sup>3</sup>/ha aos 6 anos. Dessa área total, ele deverá realizar a colheita anual de 7,2 ha para abastecimento da carvoaria. Para os fornos “rabo-quente”, a área total necessária será de 54 ha, devendo o produtor realizar a colheita anual de 9,0 ha para a produção de 785,4 mdc/ano.

Para os cenários 3 e 4, a área total mínima de plantio de eucalipto para a produção de carvão vegetal nos fornos conectados a fornalha é de aproximadamente 86,4 ha por ano, enquanto que para os fornos “rabo-quente”, a área necessária deverá ser de no mínimo 108 ha.

Quando da utilização de fornos “rabo-quente” a área de plantio de eucalipto necessária será de 25% maior, devido o seu menor rendimento gravimétrico, o que acarreta maior consumo de madeira para produção de carvão vegetal equivalente ao sistema fornos-fornalha.

## 4.2. Resultados

### 4.2.1. Análise Econômica e Financeira – Cenário 1

Na Tabela 7 são apresentados os custos anuais atribuídos ao consumo da madeira e as receitas anuais geradas pela comercialização do carvão vegetal, no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”.

**Tabela 7** – Custos anuais com madeira e receitas anuais do carvão vegetal, cenário 1

	<b>Consumo de madeira (st)/ano</b>	<b>Custo da madeira (R\$)/ano</b>	<b>Produção de carvão (mdc)/ano</b>	<b>Receita do carvão (R\$)/ano</b>
<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	1.728	60.791,00*	785,4	86.400,00
<b>Fornos “Rabo-quente”</b>	2.160	75.988,80*	785,4	86.400,00

\*Custo da madeira igual a R\$ 35,18/st, em todo período analisado.

Observa-se na Tabela 7 que para uma mesma produção de carvão vegetal e, portanto, uma mesma receita, os fornos “rabo-quente” apresentam custo com a madeira 25% maior que o sistema fornos-fornalha. Isto se deve à diferença no rendimento gravimétrico, 25% para o “rabo-quente” contra 32% para o sistema fornos-fornalha, acarretando em maior consumo de madeira.

O fluxo de caixa do Cenário 1 (Tabela 8) foi elaborado de acordo com os custos e receitas determinados para a produção de carvão vegetal no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”.



**Tabela 8 – Fluxo de caixa do Cenário 1**

Ano	Sistema Fornos-fornalha			Fornos “Rabo-quente”		
	Custo	Receita	Saldo	Custo	Receita	Saldo
<b>1</b>	65.180,94	86.400,00	21.219,06	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>2</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>3</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>4</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>5</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>6</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>7</b>	65.180,94	86.400,00	21.219,06	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>8</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>9</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>10</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>11</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>12</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>Total</b>	<b>740.467,23</b>	<b>1.036.800,00</b>	<b>296.332,77</b>	<b>929.820,60</b>	<b>1.036.800,00</b>	<b>106.979,40</b>

Para ambos os sistemas de produção de carvão vegetal, ao se realizar o corte da madeira no campo, a madeira será destinada para utilização nos fornos para ser convertida em carvão.

Conforme apresentado na Tabela 8, o sistema fornos-fornalha apresentou maior custo nos anos 1 e 7 em relação aos demais anos devido à construção dos fornos, dutos, fornalha e chaminé. Nos demais anos os custos são referentes aos custos da madeira e manutenção anual do sistema.

Os custos dos fornos “rabo-quente” nos anos 1, 3, 5, 7, 9 e 11 referem-se aos custos com madeira e construção dos fornos, já que a vida útil destes fornos é de apenas 2 anos. Nos anos 2, 4, 6, 8, 10 e 12, há os custos com madeira e de manutenção dos fornos.

Na Tabela 9 são apresentados os indicadores econômicos, Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Razão Benefício–Custo (B/C) e o indicador financeiro, Lucratividade, para o Cenário 1.

**Tabela 9** – Indicadores econômicos e financeiro do Cenário 1

<b>Indicador</b>	<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
<b>VPL (R\$)</b>	218.097,57	78.722,80
<b>VAE (R\$/ano)</b>	24.606,95	8.881,93
<b>B/C</b>	1,40	1,11
<b>Lucratividade (%)</b>	28,48	10,28

Valor Presente Líquido (VPL) foi positivo, indicando a viabilidade de ambos os projetos. Porém, o VPL obtido para o sistema fornos-fornalha foi igual a R\$ 218.097,57 e para os fornos “rabo-quente” de R\$ 78.722,80. Assim, o lucro descontado no projeto do sistema forno-fornalha é 3 vezes maior que o lucro dos fornos “rabo-quente”, considerando os 12 anos.

O Valor Anual Equivalente (VAE) representa o lucro anual e foi positivo para os dois projetos analisados, indicando a viabilidade de ambos.

O lucro anual do sistema fornos-fornalha foi de R\$24.606,95, o que equivale a **R\$ 2.050,58 por mês**. Devido à pequena quantidade de fornos, o controle da carbonização é realizado pelo próprio produtor rural, logo, esse valor representaria o pagamento mensal dos seus serviços.

Para os fornos “rabo-quente” o lucro anual foi igual a R\$ 8.881,93, com **equivalente mensal de R\$ 740,16**, valor 3 vezes menor que o verificado para o outro sistema avaliado. Normalmente, a escolha pelos fornos “rabo-quente” se deve à sua popularidade entre os

produtores de carvão e estes acreditarem obter elevado lucro, pois não consideram o custo da madeira, apenas os custos com construção e manutenção dos fornos.

Ambas as razões Benefício-Custo (B/C) foram superiores a 1. Para o sistema fornos-fornalha a razão B/C foi de 1,40 e para os fornos “rabo-quente” esta razão foi igual a 1,11. Dessa forma, para o sistema forno-fornalha as receitas superam os custos em 40%, para os fornos “rabo-quente” as receitas superaram em apenas 11% os custos envolvidos na produção de carvão vegetal.

A lucratividade do sistema fornos-fornalha foi de 28,48% ao ano, ou seja, para cada R\$100,00 comercializados de carvão vegetal, o produtor terá como lucro R\$ 28,48. Para os fornos “rabo-quente” a lucratividade foi igual a 10,28%, aproximadamente 3 vezes menor que o encontrado para o sistema forno-fornalha.

Para o sistema fornos-fornalha, o preço máximo que a madeira pode assumir para que o projeto seja viável economicamente é R\$ 49,42/st, enquanto o preço de comercialização do carvão vegetal não pode ser inferior a R\$ 78,67/mdc. Já para os fornos “rabo-quente” o valor máximo do custo da madeira é igual a R\$ 39,29/st e o preço mínimo do carvão igual a R\$ 98,69/mdc. Observa-se que os valores de preço máximo da madeira e preço mínimo do carvão encontrados para os fornos “rabo-quente” foram próximos aos valores utilizados para a elaboração da análise econômica (R\$ 35,18/st de madeira e R\$ 110,00/mdc). Portanto, se o custo da madeira aumentar ou o preço de venda do carvão diminuir, a utilização de fornos “rabo-quente” torna-se inviável.

Pode-se afirmar através dos resultados encontrados que, nas condições apresentadas, o sistema fornos-fornalha foi mais viável economicamente que os fornos “rabo-quente”, gerando maior lucro ao produtor de carvão vegetal. Além dos ganhos financeiros, há o ganho técnico devido ao maior rendimento gravimétrico, menor consumo de madeira e necessidade de menor número de fornos para uma mesma produção. Há também o ganho ambiental obtido pela mínima emissão de gases poluentes para a atmosfera.

#### **4.2.2. Análise Econômica e Financeira – Cenário 2**

Na Tabela 10 são apresentados os custos anuais, relativos ao consumo da madeira, e as receitas anuais geradas pela comercialização do carvão vegetal, no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”, para o cenário 2 (Condução da brotação do eucalipto).

**Tabela 10** – Custos anuais com madeira e receitas anuais do carvão vegetal, cenário 2

	<b>Período (anos)</b>	<b>Consumo de madeira (st)</b>	<b>Custo da madeira (R\$)</b>	<b>Produção de carvão (mdc)</b>	<b>Receita do carvão (R\$)</b>
<b>Sistema Fornos- fornalha</b>	1 - 6	1.728	60.791,00*	785,4	86.400,00
	7 - 12		36.288,00**		
<b>Fornos “Rabo-quente”</b>	1 - 6	2.160	75.988,80*	785,4	86.400,00
	7 - 12		45.360,00**		

\*Custo da madeira igual a R\$ 35,18/st. \*\*Custo da madeira igual a R\$ 21,00/st.

Ao conduzir a brotação, o custo da madeira que até o 6º ano foi igual a R\$35,18/st, é reduzido para R\$21,00/st a partir do ano 7. Isto acarreta na redução do custo de produção de carvão do 7º ao 12º ano. Como não houve alteração da produção e do preço do carvão vegetal, as receitas anuais permaneceram iguais em todo o período analisado (12 anos).

O fluxo de caixa do Cenário 2 (Tabela 11) foi elaborado de acordo com os custos e receitas determinados para a produção de carvão vegetal no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”.

**Tabela 11** – Fluxo de caixa do Cenário 2

Ano	Sistema fornos-fornalha			Fornos “Rabo-quente”		
	Custo	Receita	Saldo	Custo	Receita	Saldo
<b>1</b>	65.180,94	86.400,00	21.219,06	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>2</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>3</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>4</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>5</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	78.838,80	86.400,00	7.561,20
<b>6</b>	61.010,54	86.400,00	25.389,47	76.131,30	86.400,00	10.268,70
<b>7</b>	40.674,11	86.400,00	45.725,89	48.205,26	86.400,00	38.194,74
<b>8</b>	36.503,70	86.400,00	49.896,30	45.497,76	86.400,00	40.902,24
<b>9</b>	36.503,70	86.400,00	49.896,30	48.205,26	86.400,00	38.194,74
<b>10</b>	36.503,70	86.400,00	49.896,30	45.497,76	86.400,00	40.902,24
<b>11</b>	36.503,70	86.400,00	49.896,30	48.205,26	86.400,00	38.194,74
<b>12</b>	36.503,70	86.400,00	49.896,30	45.497,76	86.400,00	40.902,24
<b>Total</b>	<b>593.448,83</b>	<b>1.036.800,00</b>	<b>443.351,17</b>	<b>746.047,60</b>	<b>1.036.800,00</b>	<b>290.752,40</b>

Através da análise do fluxo de caixa do cenário 2 (Tabela 11), pode-se observar que a redução do custo da madeira, a partir do ano 7, promoveu a redução dos custos totais anuais, elevando o saldo (lucro) para ambos os tipos de fornos avaliados.

Para o sistema fornos-fornalha, o saldo total que era igual a R\$296.332,77 no cenário 1 passou para R\$443.351,17 no cenário 2, um aumento de 49%. Para os fornos “rabo-quente”, o saldo que era de R\$ 106.979,40, teve um aumento de quase 3 vezes, passando para o valor de R\$290.752,40, saldo total no cenário 2.

O sistema fornos-fornalha, no segundo período (anos 7 a 12), apresentou saldo anual cerca de 2 vezes maior que o verificado no primeiro período (anos 1 a 6). Para os fornos “rabo-quente”, o incremento do saldo anual proporcionado pela redução do custo do estereo de madeira foi da ordem de 4-5 vezes.

Na Tabela 12 são apresentados os indicadores econômicos, Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Razão Benefício–Custo (B/C) e indicador financeiro, Lucratividade, para o Cenário 2.

**Tabela 12** – Indicadores econômicos e financeiro do Cenário 2

<b>Indicador</b>	<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
<b>VPL (R\$)</b>	339.056,17	229.921,04
<b>VAE (R\$/ano)</b>	38.254,15	25.940,94
<b>B/C</b>	1,79	1,43
<b>Lucratividade (%)</b>	44,28	30,02

Para as condições estabelecidas para o cenário 2, os dois tipos de fornos avaliados mostram-se viáveis economicamente. Mesmo os indicadores dos fornos “rabo-quente” apresentando elevação significativa de seus valores em relação ao cenário 1, o sistema fornos-fornalha novamente apresentou viabilidade econômica superior (Tabela 12).

Devido à redução dos custos envolvidos na produção de carvão vegetal a partir do 7º ano, os indicadores do cenário 2 foram superiores aos verificados no cenário 1 (Tabela 9), demonstrando que a condução da brotação é viável em termos econômicos.

Para o sistema forno-fornalha, os indicadores econômicos VPL e VAE tiveram incremento médio de 55% e o B/C foi incrementado em 28%, em relação ao cenário 1. A lucratividade passou de 28,43% no cenário 1 para 44,28% no cenário 2.

Em relação aos fornos “rabo-quente”, o VPL e o VAE triplicaram, o B/C passou de 1,11 para 1,43 e a lucratividade de 10,26% do cenário 1 elevou-se para 30,02% no cenário 2.

Considerando as variáveis do cenário 2, o valor de R\$ 61,30/mdc é o valor mínimo de venda do carvão vegetal para que o sistema fornos-fornalha seja uma atividade lucrativa e, para os fornos “rabo-quente”, este valor não pode ser inferior a R\$ 76,97/mdc. Vale ressaltar que não foram considerados os custos de transporte do carvão vegetal neste estudo. O custos mínimos da madeira para o cenário 2, tanto para o sistema fornos-fornalha, quanto para os fornos “rabo-quente”, são os mesmos encontrados para o cenário 1 (R\$ 49,42/st e R\$ 39,29/st, respectivamente), já que as receitas são as mesmas nas duas situações.

#### 4.2.3. Análise Econômica e Financeira – Cenário 3

Na Tabela 13 são apresentados os custos anuais devido ao consumo da madeira e as receitas anuais geradas pela comercialização do carvão vegetal, no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”, segundo as condições previstas no cenário 3.

**Tabela 13** – Custos anuais com madeira e receitas anuais do carvão vegetal, cenário 3

	<b>Consumo de madeira (st)</b>	<b>Custo da madeira (R\$)</b>	<b>Produção de carvão (mdc)</b>	<b>Receita do carvão (R\$)</b>
<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	3.456	121.582,08*	1571	172.800,00
<b>Fornos “Rabo-quente”</b>	4.320	151.977,60*	1571	172.800,00

\*Custo da madeira igual a R\$ 35,18/st, em todo período analisado.

Para uma produção anual de 1571 mdc, os fornos “rabo-quente” apresentaram consumo anual de 4.320 st de madeira, enquanto o sistema fornos-fornalha teve um consumo de 3.456 st. Devido à diferença de consumo de madeira, provocada pelo menor rendimento gravimétrico em carvão vegetal dos fornos “rabo-quente”, seus custos com matéria-prima foram superiores em aproximadamente R\$ 30.000,00 ao ano.

O fluxo de caixa do Cenário 3 (Tabela 14) foi elaborado de acordo com os custos e receitas determinados para a produção de carvão vegetal no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”.

**Tabela 14** – Fluxo de caixa do Cenário 3

Ano	Sistema “Forno-fornalha”			Fornos “Rabo-quente”		
	Custo	Receita	Saldo	Custo	Receita	Saldo
1	144.432,58	172.800,00	28.367,42	172.232,40	172.800,00	567,60
2	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
3	136.551,67	172.800,00	36.248,33	172.232,40	172.800,00	567,60
4	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
5	136.551,67	172.800,00	36.248,33	172.232,40	172.800,00	567,60
6	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
7	144.432,58	172.800,00	28.367,42	172.232,40	172.800,00	567,60
8	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
9	136.551,67	172.800,00	36.248,33	172.232,40	172.800,00	567,60
10	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
11	136.551,67	172.800,00	36.248,33	172.232,40	172.800,00	567,60
12	136.551,67	172.800,00	36.248,33	166.817,40	172.800,00	5.982,60
<b>Total</b>	<b>1.654.381,81</b>	<b>2.073.600,00</b>	<b>419.218,19</b>	<b>2.034.298,80</b>	<b>2.073.600,00</b>	<b>39.301,20</b>

Conforme observado na Tabela 14, para o sistema fornos-fornalha, em todos os anos do horizonte de planejamento, o saldo foi igual ou superior a R\$28.367,42, apresentando



menores valores nos anos 1 e 7 devido à construção dos fornos, dutos, fornalha e chaminé. Para os fornos “rabo-quente”, nos anos em que houve necessidade de construção (1, 3, 5, 7, 9 e 11), o saldo observado foi de R\$567,60, enquanto nos demais anos, este saldo foi de R\$ 5.982,60.

Na Tabela 15 são apresentados os indicadores econômicos, Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Razão Benefício–Custo (B/C) e indicador financeiro, Lucratividade, para o Cenário 3.

**Tabela 15** – Indicadores econômicos e financeiro do Cenário 3

<b>Indicador</b>	<b>Sistema fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
<b>VPL (R\$)</b>	308.171,66	28.442,74
<b>VAE (R\$/ano)</b>	34.769,59	3.209,06
<b>B/C</b>	1,25	1,02
<b>Lucratividade (%)</b>	20,10%	1,90%

Considerando as condições estabelecidas para o cenário 3, ao apresentarem VPL e VAE positivo, B/C com valor acima de 1 e Lucratividade também positiva (Tabela 15), o sistema fornos-fornalha e os fornos “rabo-quente” mostraram-se viáveis economicamente.

Para o sistema fornos-fornalha a razão B/C foi de 1,25 e para os fornos “rabo-quente” esta razão foi igual a 1,02. Dessa forma, para o sistema fornos-fornalha as receitas superam os custos em 25%, e para os fornos “rabo-quente” as receitas superaram em apenas 2% os custos envolvidos na produção de carvão vegetal.

De acordo com a lucratividade calculada, para cada R\$100,00 comercializados de carvão vegetal, o sistema fornos-fornalha terá como lucro R\$20,10, cerca de 10 vezes maior em relação aos os fornos “rabo-quente”, que fornecerá um lucro de R\$1,90.

Aumentando-se a escala dos projetos de carbonização, passando a produção anual de carvão vegetal de 785 mdc para 1.571 mdc, os indicadores VPL e VAE do sistema fornos-fornalha, em comparação com o observado no cenário 1 (Tabela 9) elevaram-se, enquanto os

indicadores B/C e Lucratividade apresentaram queda. Para os fornos “rabo-quente”, todos os indicadores avaliados apresentaram valores inferiores aos observados para este mesmo tipo de forno de carbonização no cenário 1 (Tabela 9), devido, principalmente, à inclusão de mão-de-obra nos custos de produção.

Para o sistema fornos-fornalha, o preço máximo que a madeira pode assumir para que o projeto seja lucrativo é R\$ 45,24/st, enquanto o preço de comercialização do carvão vegetal não pode ser inferior a R\$ 87,87/mdc. Já para os fornos “rabo-quente” o valor máximo do custo da madeira é igual a R\$ 35,92/st e o preço mínimo do carvão igual a R\$ 107,96/st. Observa-se que os valores de preço máximo da madeira e preço mínimo do carvão encontrados para os fornos “rabo-quente” foram muito próximos aos valores utilizados para a elaboração da análise econômica (R\$ 35,18/st de madeira e R\$ 110,00/mdc), reforçando a menor viabilidade deste tipo de forno para as condições do cenário 3.

#### 4.2.4. Análise Econômica e Financeira – Cenário 4

Na Tabela 16 são apresentados os custos anuais devido ao consumo da madeira e as receitas anuais geradas pela comercialização do carvão vegetal, no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente” nas condições do cenário 4 (condução da brotação).

**Tabela 16** – Custos anuais com madeira e receitas anuais do carvão vegetal, cenário 4

	<b>Período (anos)</b>	<b>Consumo de madeira (st)</b>	<b>Custo da madeira (R\$)</b>	<b>Produção de carvão (mdc)</b>	<b>Receita do carvão (R\$)</b>
<b>Sistema fornos-fornalha</b>	1 - 6	3.456	121.582,08*	1571,0	172.800,00
	7 - 12		72.576,00**		
<b>Fornos “Rabo-quente”</b>	1 - 6	4.320	151.977,60*	1571,0	172.800,00
	7 - 12		90.720,00**		

\*Custo da madeira igual a R\$ 35,18/st. \*\*Custo da madeira igual a R\$ 21,00/st.

Para o cenário 4, assim como no cenário 2, quando o produtor rural realiza a condução da brotação de eucalipto, a partir do 7º ano os custos com madeira dos projetos são reduzidos, passando de R\$ 121.582,08/ano para R\$ 72.576,00/ano para o sistema fornos-fornalha; e para os fornos “rabo-quente”, de R\$ 151.977,60/ano para R\$ 90.720,00/ano. A produção, assim como o preço de comercialização do carvão vegetal, permaneceu constante em todo o período.

O fluxo de caixa do Cenário 4 (Tabela 17) foi elaborado de acordo com os custos e receitas determinados para a produção de carvão vegetal no sistema fornos-fornalha e nos fornos “rabo-quente”, considerando as condições do cenário 4.

**Tabela 17 – Fluxo de caixa do Cenário 4**

Ano	Sistema “Forno-fornalha”			Fornos “Rabo-quente”		
	Custo	Receita	Saldo	Custo	Receita	Saldo
<b>1</b>	144.440,11	172.800,00	28.359,89	172.241,81	172.800,00	558,19
<b>2</b>	136.559,20	172.800,00	36.240,80	166.826,81	172.800,00	5.973,19
<b>3</b>	136.559,20	172.800,00	36.240,80	172.241,81	172.800,00	558,19
<b>4</b>	136.559,20	172.800,00	36.240,80	166.826,81	172.800,00	5.973,19
<b>5</b>	136.559,20	172.800,00	36.240,80	172.241,81	172.800,00	558,19
<b>6</b>	136.559,20	172.800,00	36.240,80	166.826,81	172.800,00	5.973,19
<b>7</b>	95.418,92	172.800,00	77.381,08	110.965,32	172.800,00	61.834,68
<b>8</b>	87.538,00	172.800,00	85.262,00	105.550,32	172.800,00	67.249,68
<b>9</b>	87.538,00	172.800,00	85.262,00	110.965,32	172.800,00	61.834,68
<b>10</b>	87.538,00	172.800,00	85.262,00	105.550,32	172.800,00	67.249,68
<b>11</b>	87.538,00	172.800,00	85.262,00	110.965,32	172.800,00	61.834,68
<b>12</b>	87.538,00	172.800,00	85.262,00	105.550,32	172.800,00	67.249,68
<b>Total</b>	<b>1.360.345,01</b>	<b>2.073.600,00</b>	<b>713.254,99</b>	<b>1.666.752,80</b>	<b>2.073.600,00</b>	<b>406.847,20</b>

Devido à redução dos custos da madeira, o saldo anual a partir do 7º ano elevou-se para os dois tipos de fornos analisados. Para os fornos “rabo-quente” este aumento foi significativo, passando de R\$558,19/ano para R\$ 61.834,98/ano quando há construção dos fornos, além dos custos com madeira e mão-de-obra. Para os anos em que os custos envolvem a manutenção dos fornos, madeira e mão-de-obra o saldo passou de R\$5.973,19/ano para R\$67.249,68/ano (Tabela 17).

Assim como nos demais cenários, os fornos “rabo-quente” apresentam maior custo anual provocado pelo maior consumo de madeira para produzir uma mesma quantidade de carvão vegetal que o sistema fornos-fornalha.

Na Tabela 18 são apresentados os indicadores econômicos, Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE), Razão Benefício–Custo (B/C) e indicador financeiro, Lucratividade, para o Cenário 4.

**Tabela 18** – Indicadores econômicos e financeiro do Cenário 4

<b>Indicador</b>	<b>Sistema Fornos-fornalha</b>	<b>Fornos “Rabo-quente”</b>
<b>VPL (R\$)</b>	550.088,86	330.839,23
<b>VAE (R\$/ano)</b>	62.064,00	37.327,07
<b>B/C</b>	1,56	1,28
<b>Lucratividade (%)</b>	35,92	21,60

De acordo com as pressuposições do cenário 4, os indicadores econômico e financeiro mostraram a viabilidade dos dois tipos de fornos para produção de carvão vegetal igual a 1571 mdc/ano.

Os indicadores VPL, VAE e Lucratividade do sistema fornos-fornalha foram superiores em 1,5 vezes ao verificado para os fornos “rabo-quente” (Tabela 18). O B/C do sistema foi igual a 1,56 enquanto que para o “rabo-quente” este valor foi igual a 1,28, logo, o lucratividade gerada nos fornos “rabo-quente” foi inferior quando comparado ao lucratividade do sistema fornos-fornalha.

Ao comparar este cenário com o cenário 3, todos os indicadores calculados foram superiores. Este fato deve-se à redução dos custos com madeira do 7º ao 12º ano, que promoveu o aumento do saldo anual em ambos os fornos avaliados.

Considerando as variáveis do cenário 4, o valor de R\$ 70,49/mdc é o valor mínimo de venda do carvão vegetal para que o sistema fornos-fornalha seja uma atividade lucrativa, e para os fornos “rabo-quente” este preço não pode ser inferior a R\$ 86,24/mdc. Vale ressaltar que não foram considerados os custos de transporte do carvão vegetal neste estudo. O custos mínimos da madeira para o cenário 4, tanto para o sistema fornos-fornalha, quanto para os fornos “rabo-quente”, são os mesmos encontrados para o cenário 3, já que as receitas são as mesmas nas duas situações.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O sistema fornos-fornalha, mesmo apresentando maior custo com a construção dos fornos, dutos, fornalha e chaminé, apresentou maior viabilidade econômica que os fornos “rabo-quente”, gerando maior lucro ao produtor de carvão vegetal em todos os cenários propostos. Este mesmo sistema apresenta maior ganho técnico, devido ao maior rendimento gravimétrico, menor consumo de madeira, necessidade de menor número de fornos para uma mesma produção, além do controle da carbonização por temperatura através de sensores, ou seja, sem utilizar critérios subjetivos.

Devido ao acoplamento dos fornos a uma fornalha, ocorre a combustão dos gases da carbonização na fornalha, reduzindo a emissão de gases poluentes, significando uma contribuição ambiental, pelo fato das emissões de metano e monóxido de carbono serem praticamente anuladas. Além da possibilidade de aproveitamento do calor gerado para a produção de energia elétrica ou mesmo seu direcionamento para a secagem da madeira a ser carbonizada.

A cadeia produtiva está avançando, porém, é necessário mais investimentos para evolução e consolidação das melhores técnicas para a produção sustentável do carvão vegetal. Portanto, são necessárias políticas públicas que estimulem o emprego de tecnologias voltadas para a redução da emissão de gases de efeito estufa durante a produção de carvão vegetal e linhas de financiamento que facilitem aos produtores rurais a implantação destas tecnologias de conversão da madeira em carvão.

Vale ainda ressaltar, a resistência do setor produtivo na adoção de novas práticas e a necessidade de melhor capacitação da mão-de-obra.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7170**:Tijolos maciço cerâmico para alvenaria - especificação. Rio de Janeiro, 1983. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8041**:Tijolo maciço cerâmico para alvenaria – forma e dimensões - padronização. Rio de Janeiro, 1983. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2011. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2010**. Brasília, 2011. 130p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2012. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011**. Brasília, 2012. 145p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2009. **Florestas energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade**. Belo Horizonte, 2009. 23p.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. 2012. **Anuário estatístico 2012: ano base 2011**. Belo Horizonte, 2012. 12p.

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

ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; ACOSTA, F. C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. 2011. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.4, p.949-955, 2011.

BARCELLOS, D. C. et al. Desempenho de um forno de carbonização semi contínuo tipo container para produção de carvão vegetal. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 183-189, 2004

BRASIL. **Projeto de Lei nº 317**, de 12 de maio de 2011. Veda a utilização de carvão vegetal produzido com matéria-prima oriunda de extrativismo, altera a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, Código Florestal, e a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Comportamento isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização**. Piracicaba: ESALQ, 2006. 4 p. (Circular Técnica, 28).

BRITO, J. O. **Desafios e perspectivas da produção e comercialização do carvão vegetal**. 2010. II Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal. Sete Lagoas – MG. 2010.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG. 2008.

CARDOSO, M. T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira**. 2010. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2010.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS-CIFLORESTAS. 2011. **Preço de produtos - Carvão vegetal**. Viçosa, MG. Disponível em:  
<[http://www.ciflorestas.com.br/dado.php?id=16&n=preco\\_de\\_produtos\\_carvao\\_-\\_plantadas\\_belo\\_horizonte\\_mg](http://www.ciflorestas.com.br/dado.php?id=16&n=preco_de_produtos_carvao_-_plantadas_belo_horizonte_mg)>. Acesso em: 30 ago. 2012.

COLOMBO, S. F. O.; PIMENTA, A. S.; HATAKEYAMA, K. Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru-SP. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais**. Colombo: EMBRAPA, 2002. 4 p.

LAVABRE, M. **Aromaterapia: a cura pelos óleos essenciais**. 5ª edição, Rio de Janeiro. Record, Editora Nova Era, 2001. p. 18-89.

DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. dos S.; PALUDO, A. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 37p. (Documentos, 197).

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. 2011. **Balanco Energético Nacional 2011: Ano Base 2010**. Rio de Janeiro, 2011. 266p.

FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Share of total primary energy supply in 2008: energy statistics, 2010. Disponível em:

<[http://www.iea.org/textbase/stats/pdf\\_graphs/29TPESPI.pdf](http://www.iea.org/textbase/stats/pdf_graphs/29TPESPI.pdf)>. Acesso em 01 ago. 2011.

JUVILLAR, J. B. Tecnologia de Transformação da Madeira em Carvão. In: PENEDO, W.R. et al. Eds. **Uso da Madeira para Fins Energéticos**. Belo Horizonte: Fundo Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, 1982. p.67-82.

MAGALHÃES, E. A. **Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa**. 2007. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. In: Produção e utilização do carvão vegetal. 1982. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. p. 75-89. 1982.

MEZERETTE, C. & GIRARD, P. 1996. **Environmental Aspects of Gaseous Emissions from Wood Carbonisation and Pyrolysis Processes**. Centre Technique Forestier Tropical, France, 20 p.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. 2010. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

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

OLIVEIRA, R. L. M. **Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal**. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG. 2009.

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

PIMENTA, A. S.; BARCELLOS, D.C. **Atualização em carvão vegetal**. Apostila. Viçosa: UFV, 2004. 95p.

REZENDE, J. L. P; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2ª edição. Viçosa: UFV, 2008, 386p.



SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH, *Eucalyptus grandis* HILL ex MAIDEN e *Eucalyptus torelliana* f. MUELL, plantados em Anhembí, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan./abr. 1993.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry - Fundamentals and Applications**. 1993. Editora Academic Press, 293 p. 2 ed. 1993.

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

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H. ; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. 2007. **Fuel**, v. 86, p. 1781-1788, 2007.