

LUCAS CORREA DE ALMEIDA

ASPECTOS ECONÔMICOS DO CARVÃO VEGETAL NA SIDERURGIA:  
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

São Paulo  
2010

LUCAS CORREA DE ALMEIDA

ASPECTOS ECONÔMICOS DO CARVÃO VEGETAL NA SIDERURGIA:  
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Professor Doutor  
Marcelo Breda Mourão

São Paulo  
2010

## AGRADECIMENTOS

A minha família que me proporcionou a oportunidade de estudar na Universidade de São Paulo e sempre me apoiou nas dificuldades em que passei. Sem eles, tudo seria muito mais difícil.

A todos os meus amigos, companheiros de coração que me acompanharam durante todos estes anos em provas, trabalhos e estudos. Juntos, tornamos mais divertidos estes longos dias de jornada.

Ao professor orientador Marcelo Mourão primeiramente pela indicação ao estágio de férias na Cosipa e depois pelo apoio ao trabalho de formatura.

Aos meus colegas de trabalho, pela compreensão em momentos de necessidade e pelo incentivo a minha formatura.

A todos aqueles não citados que estiveram próximos de mim durante estes cinco anos ou parte deles.

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL NO BRASIL POR SETOR, EM MILHARES DE TONELADAS. \_\_\_\_\_ 5

GRÁFICO 2. PRODUÇÃO DE FERRO-GUSA E CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL \_\_\_\_\_ 6

GRÁFICO 3. EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL CONFORME SUA ORIGEM NO BRASIL. \_\_\_\_\_ 7

GRÁFICO 4 – AUMENTO DE PREÇO DO CARVÃO MINERAL COM QUEDA DE PREÇO DO CARVÃO VEGETAL. \_\_\_\_\_ 29

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – FASES DA PIROLÍSE DA MADEIRA	8
TABELA 2 – COMPARATIVO DO PRODUTO DE ALTO-FORNO A COQUE E A CARVÃO VEGETAL	11
TABELA 3 – COMPARATIVO DO PRODUTO DE ALTO-FORNO A COQUE E A CARVÃO VEGETAL ASPECTOS TÉCNICOS	11
TABELA 4 – CUSTO DE CARVÃO MINERAL E CARVÃO VEGETAL POR TONELADA DE FERRO-GUSA PRODUZIDO	11
TABELA 5 – SUBPRODUTOS DA COQUERIA	15
TABELA 6 – VARIÁVEIS E PREÇOS DO CENÁRIO 1	24
TABELA 7 – RESULTADOS PARA O CENÁRIO 1	25
TABELA 8 – VARIÁVEIS E PREÇOS DO CENÁRIO 2	25
TABELA 9 – RESULTADOS PARA O CENÁRIO 2	26
TABELA 10 – VARIÁVEIS E PREÇOS DO CENÁRIO 3	26
TABELA 11 – RESULTADOS PARA O CENÁRIO 3	27
TABELA 12 – REDUÇÃO DO PREÇO DO CARVÃO VEGETAL	28
TABELA 13 – AUMENTO DO PREÇO DO CARVÃO MINERAL	28
TABELA 14 – AUMENTO DO PREÇO DO CARVÃO MINERAL E REDUÇÃO DO PREÇO DO CARVÃO VEGETAL	28

## RESUMO

Uma alternativa brasileira como combustível na siderurgia é o carvão vegetal. Ele surge como substituto do coque como combustível do alto-forno para produção de ferro-gusa. Enquanto o coque é oriundo do carvão mineral, o carvão vegetal é produzido a partir de madeira florestal. Portanto, o carvão mineral é um elemento finito e o carvão vegetal é uma fonte renovável. Se produzido através de reflorestamento, o carvão vegetal também é ambientalmente mais correto que o carvão mineral, já que no seu fluxo resgata o dióxido de carbono da atmosfera. No entanto, não basta o apelo ambiental para ser feita esta substituição, a proposta deve ser, também, economicamente viável e o quadro hoje é que as siderúrgicas integradas – as maiores produtoras de aço do país - continuam investindo em coquearias. O objetivo do trabalho foi investigar os aspectos econômicos do carvão vegetal na siderurgia e compará-los com os do coque através de valores atuais nas etapas de produção do ferro-gusa. Os valores encontrados dão vantagem ao coque, mas alguns fatores podem colocar o carvão vegetal como alternativa mais viável no futuro.

**Palavras chave:** Engenharia. Engenharia Metalúrgica. Siderurgia. Carvão Vegetal.

## ABSTRACT

An alternative fuel in the Brazilian steel industry is charcoal. It appears as a substitute for coke as fuel for blast furnace iron production. While the coke comes from coal, the charcoal is produced from wood forest. Therefore, coal is a finite element and charcoal is a renewable source. If produced through reforestation, charcoal is also more environmentally correct than coal, as in its flow recovers carbon dioxide from the atmosphere. However, not just the environmental appeal to be made this substitution, the proposal should be also economically viable and the picture today is that the integrated steel mills - the largest producers of steel country - continue to invest in coking. The objective of work was to investigate the economics of coal the steel plant and compare them with coke current values through the stages of production iron. The values found give advantage to the coke but some factors can put the charcoal as more viable alternative in the future.

**Keywords:** Engineering. Metallurgical engineering. Steel industry. Charcoal.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
LISTA DE GRÁFICOS	ii
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
SUMÁRIO	vi
1. Introdução	1
1.1. Panorama da Siderurgia no Brasil e no Mundo	1
1.1.1 Pequeno histórico da siderurgia	1
1.1.2. Panorama mundial	2
1.1.3. Panorama nacional	2
1.1.4. Expansão da indústria siderúrgica brasileira	3
1.2. O carvão vegetal no Brasil	4
1.3. Produção de carvão vegetal	6
1.3.1. Aspectos técnicos do processo de pirólise de madeira	8
1.3.2. Aspectos técnicos da produção de carvão vegetal em larga escala	9
2. Fluxos: Carvão vegetal e coque	10
2.1. Comparações Alto-Forno a Carvão Vegetal e a Coque	11
2.2. Custos para o coque	12
2.2.1. Investimento para construção da coqueria	12
2.2.2. Preço do carvão mineral	13
2.2.3. Logística portuária	13
2.3. Recuperação de custos para o coque	14
2.3.1. Geração de energia	14
2.3.2. Produtos Derivados	15



2.4. Custos para o carvão vegetal	15
2.4.1. Produção de Carvão vegetal	15
2.4.2. Reflorestamento	16
2.4.3. Custos de transporte e frete	17
2.4.4. Perdas no alto forno	18
2.4.5. Problemas na produção do carvão vegetal	18
2.4.6. Produtos derivados da produção de carvão vegetal	19
2.4.7. O fator créditos de carbono	20
3. Análise de Sensibilidade	20
3.1. Metodologia	20
3.1.1. Quantidade de combustível necessária para produção anual de 1 milhão de toneladas de ferro-gusa.	21
3.1.2. Investimento inicial para construção da coqueria	21
3.1.3. Investimento em infra-estrutura portuária	21
3.1.4. Preço da matéria-prima	21
3.1.5. Produção de energia através da coqueria	22
3.1.6. Taxa de oportunidade	22
3.1.7. Resultados dos créditos de carbono	23
3.1.8. Simplificações na análise.	24
4. Resultado de Cenários	24
4.1. Cenário 1	24
4.2. Cenário 2	25
4.3. Cenário 3	26
4.4. Cenário de variações de preço de carvão vegetal e mineral	27
5. Conclusão	30
6. Bibliografia	32

# 1. Introdução

Hoje, grande parte das siderúrgicas brasileiras utiliza coque ao invés de carvão vegetal como combustível de alto-forno. Sabendo que o carvão vegetal é uma proposta mais sustentável do ponto de vista ambiental, além de ser uma fonte renovável, propomos investigar o viés econômico do coque quando comparado ao carvão vegetal. Este é muito utilizado para a produção única do ferro-gusa em pequenos alto-fornos espalhados pelo interior de Minas Gerais, Pará e outras localidades do Brasil.

A viabilidade econômica do negócio, no entanto, não está muito bem definida: enquanto algumas grandes siderúrgicas brasileiras continuam investindo grandes quantias de capitais para construção de coquearias e alto-fornos a coque, vez por outra surgem algumas propostas e projetos em que o combustível usado no processo será o carvão vegetal.

Nossos objetivos são entender quais variáveis afetam os preços do carvão vegetal e do coque no processo siderúrgico e encontrar qual o tamanho do impacto destas variáveis quando comparamos os dois combustíveis. Estas variáveis podem ajudar num estudo de viabilidade para a escolha de um dos combustíveis.

## 1.1. Panorama da Siderurgia no Brasil e no Mundo

### 1.1.1. Pequeno histórico da siderurgia

Analisando a partir de 1950, podemos observar 3 fases distintas da siderurgia: a primeira, o período entre 1950 e 1973, consistiu numa forte expansão com taxa de crescimento médio de 5,8% ao ano, passando de 190 para 696 milhões de toneladas de aço bruto produzidas ao ano. Dois fatores foram responsáveis pela estagnação que aconteceu no período posterior: o preço do petróleo e a fragmentação da União Soviética, encarecendo os custos da indústria e diminuindo a demanda mundial. Entre 1973 e 1998, o crescimento foi de apenas 0,4% ao ano, passando para 777 milhões de toneladas no final deste período. A partir de então, com grande colaboração da China, o crescimento foi 5,6% do término deste período até 2007, quando a produção alcançou 1,3 bilhões de toneladas. Em 2008 e 2009,

tivemos uma queda na produção devido a efeitos da crise econômica, diminuindo a demanda mundial. No entanto, acredita-se que nos próximos anos, a produção voltará a atingir o patamar do começo da década. [8]

### 1.1.2. Panorama mundial

Analisando dados de 2007, vemos que a China é o grande produtor mundial de aço: produziu 489,2 milhões de toneladas e foi responsável por 36,4% da produção mundial. O segundo país é o Japão que com 120,2 milhões de toneladas produzidas, responde por 9% do mundo. O Brasil, que estava na 9ª posição, produziu 33,8 milhões de toneladas, atingindo 2,5% da produção mundial. A participação do país, bem como a de outros países vem caindo nos últimos anos decorrente de uma estagnação da produção e o forte crescimento chinês.

Em relação ao saldo no comércio exterior de produtos acabados, a China, que é a principal exportadora, disponibilizou 32,6 milhões de toneladas em 2006. Vale destacar que o consumo aparente chinês é médio (307 kg/hab, em 2007), mas, aliado a sua enorme população de mais que 1,2 bilhões de habitantes, resulta num alto consumo interno. Tanto que, até 2004, a China ainda era importadora de aço.

Outros países de saldo positivo em 2006 foram o Japão (30,1 milhões), a Ucrânia (29,1 milhões), a Rússia (12,4 milhões) e o Brasil (10,6 milhões). No entanto, o Brasil já teve saldos maiores de exportação (12,4 milhões em 2003). [8]

### 1.1.3. Panorama nacional

A produção siderúrgica nacional está concentrada em cinco empresas principais, que respondem por 93% da produção: Belgo ArcelorMittal Brasil, CSN, CST Arcelor Brasil, Gerdau e Usiminas/Cosipa, sendo esta última a maior produtora de aço bruto.

A produção brasileira de ferro-gusa vem tanto das usinas integradas quanto dos guseiros independentes que responderam por 28% da produção em 2007.

O principal insumo para a siderurgia brasileira, ao lado do minério de ferro, é o carvão metalúrgico, oriundo principalmente de importações (14,9 milhões de toneladas importadas contra 144 mil toneladas produzidas). Destes 14,9 milhões,

10,4 milhões foram processados em coqueiras e 3,4 milhões foram injetados diretamente no alto-forno.

Outra característica nacional é o carvão vegetal que é usado na produção de gusa pela maioria dos guseiros independentes. Sendo assim, o carvão vegetal representa 32,6% do combustível na produção do ferro-gusa (5,6% através de usinas integradas a coque e 27% através de guseiros). [8]

#### 1.1.4. Expansão da indústria siderúrgica brasileira

Antes de seguir com a previsão é necessário dizer que o cenário estudado foi construído no primeiro semestre de 2008, antes da crise financeira internacional, com a eclosão da crise no segundo semestre, novos elementos foram inseridos novos variáveis de mudanças. No entanto, é difícil e prematuro prever quais foram os efeitos desta crise e o quando ela vai influenciar este novo cenário.

Acredita-se, no entanto, que o cenário de expansão da siderurgia preservará sua atualidade no médio e no longo prazo, sendo afetado apenas nas previsões de curto prazo. Muitos dos projetos de expansão da capacidade já estão em fase de implantação (é o caso da CSA – Companhia Siderúrgica do Atlântico, joint-venture da Vale e da Thyssen-Krupp, em fase de instalação) e outros poderão ser postergados. Todos os projetos deverão ser implantados, mesmo que com algum atraso, a não ser que se concretize uma prolongada recessão ou estagnação.

No cenário estudado, o tempo definido foi de 2008 até 2025 e definiu-se 3 níveis: no nível 1 destacam-se as expansões de unidades existentes e plantas consideradas com maior probabilidade de implantação até 2015. O nível 2 contempla projetos com probabilidade de instalação até 2015, mas instalação quase certa até 2020 e o nível 3 engloba projetos que deverão ser instalados após 2020.

As previsões indicam um crescimento médio de 6% ao ano e considera a manutenção das rotas tradicionais de produção do aço. Para 2015 a produção total de aço bruto estimada é de 81,7 milhões de toneladas. No final do nível 2, em 2020, a produção deverá ser de 100,6 milhões de toneladas e no final de 2025 (nível 3) de 111,7 milhões de toneladas de aço bruto. [8]

## 1.2. O carvão vegetal no Brasil

O uso do carvão vegetal é um processo irreversível no que diz respeito ao atendimento da demanda por insumos energéticos e redutores do segmento industrial brasileira. Há elementos de ordem econômica, tanto em custos como em qualidade do produto que reforça esta necessidade. No entanto, isto se reflete em outros problemas. [4]

Na década de 60, o uso de espécies do gênero *Eucalyptus* - em função da maior densidade em relação à madeira de pinus - contou com aporte de incentivos fiscais do governo, tornando as siderúrgicas auto-sustentáveis e adequando-se a um novo perfil da indústria de base florestal.

Para garantir a matéria prima, as empresas têm projetos de reflorestamento e várias regiões do país. A maioria do plantio para produção de carvão vegetal é feita no estado de Minas Gerais. No entanto, estes plantios apresentam diferentes produtividades de acordo com a região em que são realizados. [13] [14]

As empresas siderúrgicas ainda dependem de matéria prima oriunda de florestas plantadas. Como exemplo, no ano 2000, a produção sustentável calculada era de 23,75 milhões de metros cúbicos de madeira, resultando em 13,42 milhões de metros cúbicos de carvão (esta relação se estabeleceu em 1999, quando se usou 33,4 milhões de metros cúbicos de madeira para produção de 18,83 milhões de metros cúbicos de carvão). Só o setor siderúrgico consumiu 16 milhões de metros cúbicos de carvão em 2000. Por isso, faz-se necessário a expansão da área plantada do setor siderúrgico. [14]

A utilização de carvão vegetal na siderurgia tem uma série de vantagens para o país, das quais podemos citar: fonte energética renovável; alternativa para o carvão mineral, pois o que temos no país, além de insuficiente, é de má qualidade tornando necessária a importação; promove ocupação de terras disponíveis e impróprias; cria um grande número de empregos diretos e indiretos. Outro fator importante é a possibilidade de eficiência energética, num futuro de iminente escassez do petróleo. [13] [15]

O Brasil apresenta um perfil de emissões diferente daquele dos países desenvolvidos, em que as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. As emissões provenientes da mudança do uso da terra e florestas, principalmente devido ao desmatamento ilegal de florestas para a expansão da fronteira agropecuária, representam um grande desafio para o país, se comparadas às emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis. [21]

Embora importante, a participação dos combustíveis de madeira na matriz energética vinha caindo até 2000, quando a tendência se reverteu e começou a crescer rapidamente atingindo patamares semelhantes ao dos anos 80.

A respeito do consumo de carvão vegetal, podemos dizer que está diretamente relacionado à indústria siderúrgica, e representou 43,3% do consumo de lenha em 2005. O gráfico seguinte mostra a evolução histórica do carvão vegetal:

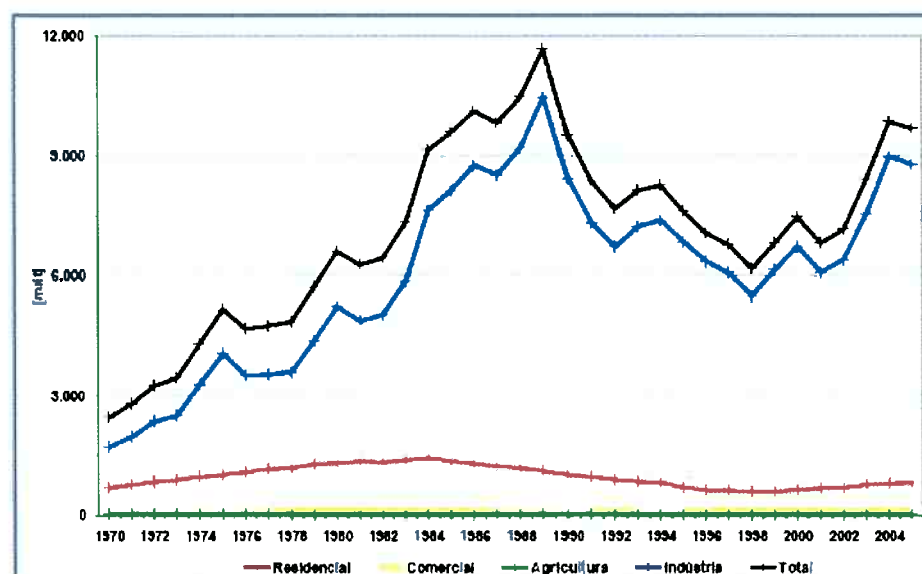


Gráfico 1. Consumo de carvão vegetal no Brasil por setor, em milhares de toneladas. [21 apud 22]

O setor industrial consumiu 8,7 milhões de toneladas de carvão vegetal em 2005, representando 90,5% do consumo brasileiro. A atividade de produção de ferro-gusa consumiu 84,9% deste número.

A tendência de queda do consumo de combustíveis de madeira foi revertida devido ao aumento da transformação de lenha em carvão vegetal. Em 2005 42,8% da produção de lenha foram convertidos em carvão vegetal.

Já o consumo de carvão vegetal está diretamente ligado a siderurgia: a produção de ferro-gusa é o principal consumidor de carvão vegetal, como mostra o gráfico abaixo:

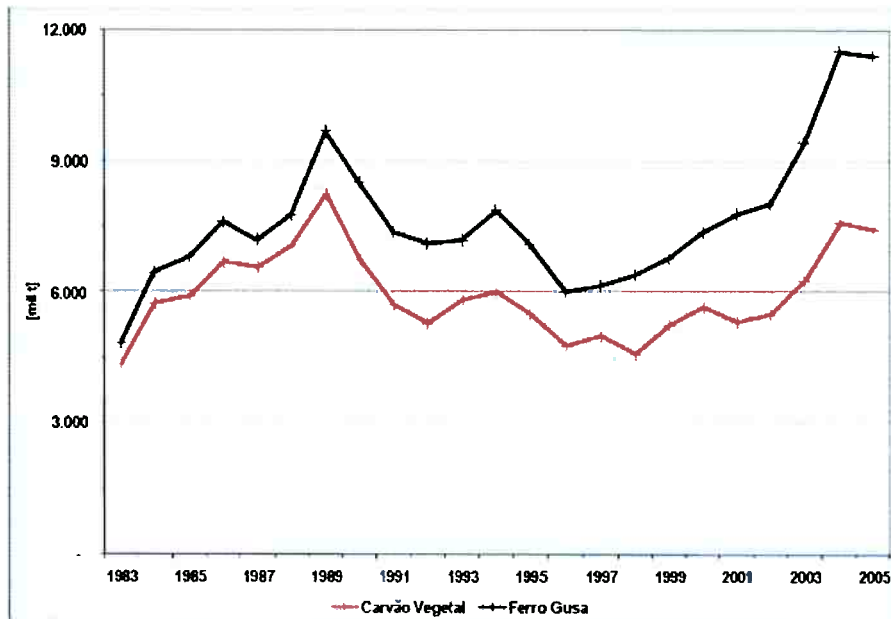


Gráfico 2. Produção de ferro-gusa e consumo de carvão vegetal [21 apud: 22]

### 1.3. Produção de carvão vegetal

Algumas características diferem o carvão de mata nativa do carvão de floresta plantada. O importante é saber que o carvão de mata nativa tem qualidade variada enquanto o de floresta plantada é homogêneo, com maior qualidade e maior preço. [13]

A tendência atual é de mudança de madeira oriunda de floresta nativa para floresta plantada, de reflorestamento. No entanto, devido a grande demanda dos últimos anos, o consumo de madeira nativa foi alto. O gráfico seguinte mostra esta evolução.

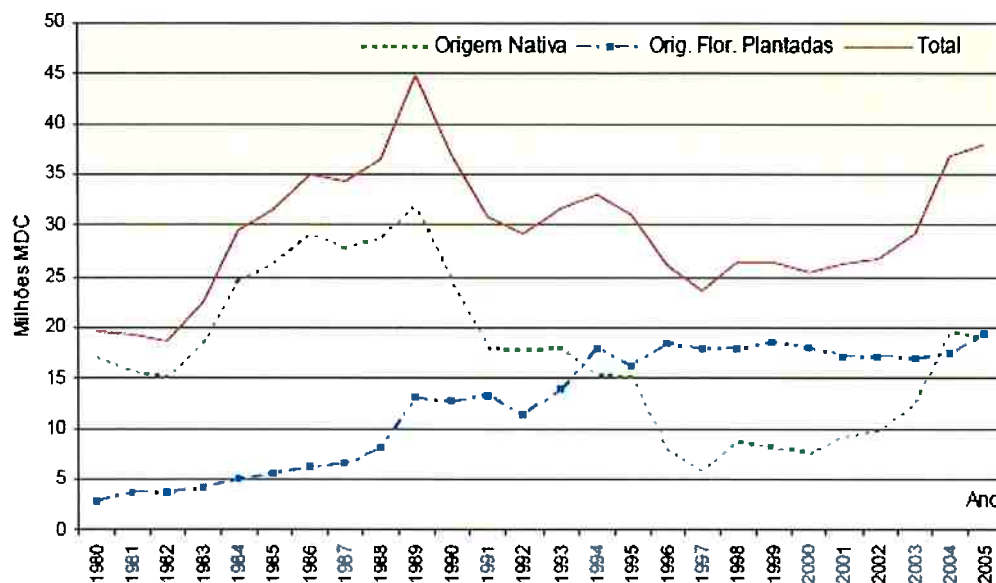


Gráfico 3. Evolução do consumo de carvão vegetal conforme sua origem no Brasil. [24]

Outro fator importante é a pouca eficiência dos elos da cadeia produtiva nacional. Grande parte do produto é obtida com técnicas rudimentares, mão-de-obra pouco qualificada e pequena alocação de recursos. A tecnologia é carente de novos processos. Produz-se de forma rudimentar em fornos de argila cuja construção exige baixo investimento. Além disso, muitas vezes a atividade de carvoejamento é associada com condições desumanas de trabalho. [3]

O transporte de carvão, produzido próximo as florestas, se dá através de caminhões comuns, não havendo um investimento em equipamento próprio pra esta atividade. [16]

Outras características desta indústria são:

- Poucas empresas grandes e um percentual significativo de pequenas e médias unidades de produção;
- Localização descentralizada;
- Voltadas para atender a demanda interna;
- Poucas restrições quanto a matéria prima;
- Mão de obra intensiva;
- Baixo grau de profissionalização;
- Baixo grau de investimento; [16]



### 1.3.1. Aspectos técnicos do processo de pirólise de madeira

A ação do calor elimina grande parte dos componentes voláteis da madeira, daí o processo ser considerado uma “destilação seca da madeira”. A concentração de carbono acontece devido à eliminação da maior parte do Oxigênio e Hidrogênio da madeira. [4]

Durante o processo, dois elementos são resultados: um resíduo sólido carbonoso e uma fração gasosa. Esta fração gasosa é condensada da qual é retirada um líquido pirolenhoso constituído por água e por compostos químicos como ácido acético, éter, acetona, alcatrão, entre outros. A outra parte, são gases não condensáveis inflamáveis como o CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, entre outros. [17]

A tabela a seguir apresenta as fases da pirólise da madeira:

Tabela 1 – Fases da pirólise da madeira [4]

Fase	Temperatura (°C)	Fenômenos e produtos
I	< 200	- perda de umidade - fase endotérmica
II	200 – 280	- aumento de reação e eliminação de gases - a madeira passa para a cor arroxeadada - fase endotérmica
III	280 – 380	- importante fase de reações e grande eliminação de gases - o resíduo final desta fase já é carvão vegetal, mas com compostos voláteis - fase exotérmica
IV	380 – 500	- redução da saída de gases - carvão vegetal passa por purificação de sua composição através da eliminação de componentes voláteis - fase exotérmica
V	> 500	- degradação do carvão - término da carbonização e início da gaseificação do carvão; - fase exotérmica

Após a produção do carvão (até 380° C), as fases seguintes reduzirão o rendimento do produto e diminuirão sua resistência físico-mecânica, em que pese o aumento do teor de carbono fixo. [4]

Entre as utilidades dos componentes secundários do processo de produção de carvão vegetal, se destacam o líquido pirolenhoso que, quando diluído em água ou urina bovina, encontra vasta aplicação no campo das culturas orgânica e convencional. O alcatrão também é utilizado como combustível preservativo de madeira ou matéria prima de indústrias químicas e farmacêuticas. [18]

Sobre a madeira, a principal utilizada é a *Eucalyptus grandis* que apresenta uma densidade de 0,438 g/cm<sup>3</sup> aos sete anos, sendo grande parte das plantações utilizadas em Minas Gerais. Além da densidade, destacam-se os elementos químicos da madeira, que são o Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), sendo o último em pequenas quantidades. A composição percentual em relação ao peso seco varia de 49 a 50% para o carbono, média de 6% para o hidrogênio e varia de 44 a 45% para o oxigênio. [19]

O teor de cinzas é maior no carvão vegetal de origem nativa devido à variabilidade de espécies. Espécies menos densas, com lenha de menor diâmetro, carbonizam-se mais rapidamente, produzindo maior quantidade de cinzas. Quanto maior a quantidade de minerais na madeira, maior também será a porcentagem de cinzas, fato pouco desejável especialmente na siderurgia. [13] [20]

### 1.3.2. Aspectos técnicos da produção de carvão vegetal em larga escala

O calor suficientemente controlado é o principal fator na produção, todos os outros processos práticos são baseados neste objetivo. As outras variações são: dimensionamento do tamanho e capacidade de produção, materiais construtivos e origem do calor necessário para o aquecimento da carga de madeira. [4]

Quanto à origem do calor, classificamos em:

- a) Sistemas com fonte interna de calor ou por combustão parcial – onde o calor é fornecido mediante a combustão de parte da carga destinada para carbonização. Este processo sacrifica de 10 a 20% do peso da carga de madeira para gerar o calor;

- b) Sistemas com fonte externa de calor, onde o calor é fornecido de uma fonte externa e não há queima de uma parte da carga, fazendo toda madeira ser convertida em carvão. [4]

Os processos mais usados em países do terceiro mundo são os com fonte interna de calor e ele é quase totalidade do produto brasileiro. Basicamente, trata-se de fazer um forno, colocar fogo e queimar a madeira de forma controlada. A queima é realizada mediante admissão controlada de oxigênio e os gases resultantes são removidos através de uma ou mais chaminés. O rendimento gravimétrico não ultrapassa 40% em geral. Conseqüentemente, 60% do peso é transformado em gases.

## 2. Fluxos: Carvão Vegetal e Coque.

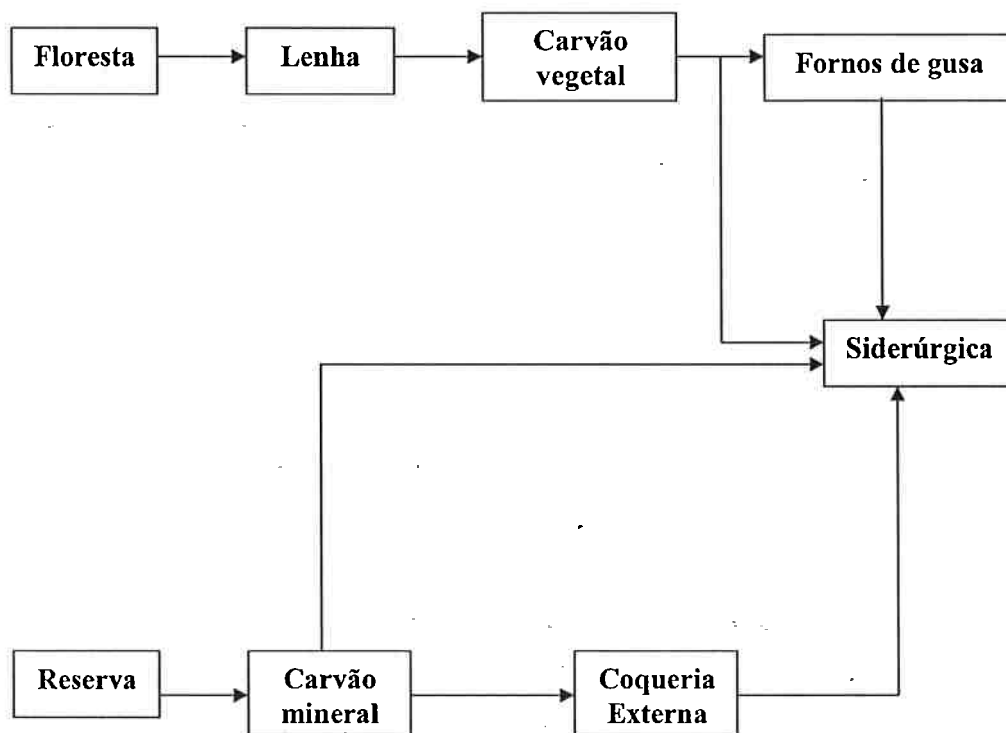


Figura 1 – Fluxo da siderurgia a carvão vegetal e a coque

## 2.1 Comparações Alto-Forno a Carvão Vegetal e a Coque

Em termos de qualidade, a grande vantagem do carvão vegetal é o fato de não possuir quantidade significativa de enxofre que atrapalha na qualidade do aço, no caso do coque. Para o coque é necessária realizar a dessulfuração no aço.

Tabela 2 – Comparativo do produto de alto-forno a coque e a carvão vegetal. [12]

Comparativos	Coque	Carvão Vegetal
<b>Produção</b>	1200 a 14000 t/d	40 a 1200 t/d
<b>Volume de escória</b>	300 kg/t gusa	150 kg/t gusa
<b>Gusa</b>	Si < 1%	Si variável
	Problema: S	Problema: P
<b>Escória</b>	Básica	Ácida

Tabela 3 – Comparativo do produto de alto-forno a coque e a carvão vegetal.

Aspectos técnicos. [12]

Calores ideais	Coque	Carvão Vegetal
<b>Carbono fixo (%)</b>	88	75 – 80
<b>Umidade (%)</b>	0 – 6	< 4
<b>Cinza (%)</b>	10 – 12	< 1
<b>Enxofre (%)</b>	0,45 – 0,70	< 0,03
<b>Resistência a compressão (kg/cm²)</b>	130 – 160	> 30
<b>Densidade (kg/m³)</b>	550	> 250

Tabela 4 – Custo de carvão mineral e carvão vegetal por tonelada de ferro-gusa produzido.

Gusa	Carvão Vegetal (m³)	Preço (R\$)	Final (R\$)	Carvão Metalúrgico (kg)	Preço	Final (R\$)
1 ton	2,5 [9]	120 / m³ carvão [30]	300	700 kg	307 / t carvão [34]	215

Na tabela acima não utilizamos os valores para o coque, porque estamos falando das matérias primas. Como praticamente toda siderúrgica nacional transforma o carvão mineral metalúrgico em coque, antes de usar como combustível no alto-forno, vamos usar o mesmo critério.

## 2.2 Custos para o coque

### 2.2.1. Investimento para construção da coqueria

Em 2007, a Usiminas fechou contrato com os fornecedores chineses da MinMetal para a construção de sua terceira coqueria em Ipatinga (MG) que terá um custo de aproximadamente U\$ 250 milhões, para a produção de 750 mil toneladas de coque por ano.

Por outro lado, a CSA (Companhia Siderúrgica do Atlântico) fechou um projeto de coqueria que prevê a produção de 2 milhões de toneladas de coque por ano a um custo de aproximadamente R\$ 100 milhões de reais.[39]

Como os detalhes de contrato são omitidos, tais como outros produtos vendidos, tempo para construção, detalhes do pagamento, não podemos afirmar quanto custa exatamente a construção de uma nova coqueria.

A informação mais correta pode ser a da construção da SunCoke, coqueria independente localizada no Espírito Santo. Por ser uma coqueria independente, os custos devem estar associados somente a produção de coque. O investimento realizado foi de cerca de U\$ 400 milhões, para a produção de 1,55 milhão de toneladas de coque e geração de 165 MW de energia. O número é mais próximo dos valores conseguidos com a Usiminas e mais próximos da realidade.

Portanto ficamos com o número do custo de aproximadamente U\$ 260 milhões para 1 milhão de toneladas de coque ao ano. Deve-se ressaltar que este número é proporcional ao valor pago para 1,55 milhão de toneladas e não reflete exatamente a realidade, será um número usado para estimativas.

O tempo de vida útil de uma bateria de coque atualmente é entre 30 e 40 anos, no entanto existem maneiras de prolongar esta vida útil através de práticas operacionais ou uma estratégia de renovação.

### 2.2.2 Preço do carvão mineral

Os preços das commodities de carvão mineral são negociados na Bolsa de Mercadorias de Nova Iorque (NYMEX) e na Bolsa Intercontinental (ICE).

Alguns dos contratos destes casos incluem os detalhes do produto, tais como quantidade de enxofre, cinzas e volatilidade.

O grande problema do carvão mineral é a grande variância que seus preços podem sofrer.

### 2.2.3 Logística portuária

Outro fator importante para se levar em conta é o gasto que tem as empresas com todo o processo de recebimento do carvão, estocagem e logística do porto. O carvão mineral geralmente sai de lugares muito distantes, como a China, e qualquer tempo a mais que o navio fica parado no porto, resulta em gastos extras não contabilizados nesta comparação.

A Usiminas recentemente adquiriu um terreno de 850.000 m<sup>2</sup>, em Itaguaí-RJ, para a importação e exportação de produtos e matérias-primas, especialmente o excedente de minério de ferro. A logística para a exportação de minério de ferro estará integrada com a operação do terminal, uma vez que a ligação com as minas adquiridas será feita pela MRS Logística, empresa de cujo controle a Usiminas participa. O custo da aquisição da área foi de R\$ 72 milhões, aos quais serão somados aproximadamente R\$ 40 milhões em soluções ambientais e R\$ 1,7 bilhão em infraestrutura portuária, totalizando um investimento de R\$ 1,8 bilhão para uma capacidade de 25 milhões de toneladas por ano. [39]

Obviamente, este alto valor tem a ver também com as necessidades de exportação de minério de ferro da empresa, mas é inegável o investimento necessário para operar com um volume alto de importações (cerca de 700 kg de carvão mineral por tonelada de gusa).

*O exemplo da Usiminas [26]:*

Localizadas em Ipatinga (Usiminas) e em Cubatão (Cosipa), o sistema consome cerca de 6 milhões t/ano de carvões, oriundos de diversas fontes, sendo a Austrália e os EUA os principais fornecedores. O processo logístico é complexo,

sendo originado na mina em que o carvão é produzido, passando por modais ferroviários e marítimos, além da utilização da estrutura portuária tanto na origem quanto no destino final. Isso se traduz em cerca de dez a 15 diferentes portos de carregamento, em sete países, resultando no recebimento de 120 navios por ano em dois portos de descarga.

Além da complexidade operacional em si, o processo tem a longa inércia como um ponto inerente. Desde o momento em que se faz a programação inicial, até o consumo final do carvão, pode-se passar de sete a oito meses. Desse modo, temos que planejamento e controle são vitais.

Anualmente, todo o processo de abastecimento (excluindo-se o preço do carvão) consome um gasto total da ordem de R\$ 400 milhões, fazendo da logística e abastecimento um item de extrema importância no controle de custos do Sistema.

## 2.3. Recuperação de custos para o coque

### 2.3.1 Geração de energia

A tecnologia *Heat Recovery* também proporciona a cogeração de energia elétrica. O processo *Heat Recovery* converte o calor da combustão dos fornos em vapor e/ou eletricidade através de geradores de vapor a calor recuperado e turbinas a vapor. O benzeno e demais poluentes gerados ao longo das muitas horas de queima de carvão são completamente incinerados no interior dos fornos de coque, eliminando a necessidade de uma planta de subprodutos químicos e o descarte de resíduos perigosos.

Os soleflues e os dutos de gases quentes oferecem o tempo, temperatura e turbulência suficientes para garantir a destruição completa de virtualmente todos os compostos orgânicos, gerando gases inertes quentes. A pressão negativa de operação dos fornos da SunCoke Energy suciona o ar para o forno, através das passagens de ar de cada porta do forno e cada soleflue, e o movimento do ar através do forno maximiza a temperatura. O calor excedente é convertido em vapor e/ou eletricidade através de caldeiras de recuperação do calor e turbinas a vapor.

Uma coqueria com capacidade para 1 milhão de toneladas de coque por ano tem capacidade para gerar aproximadamente 100MW de eletricidade. [32]

### 2.3.2 Produtos Derivados

Produção aproximada de derivados por tonelada de carvão mineral:

Tabela 5 – Subprodutos da coqueria [10]

<b>Produto</b>	<b>Kg</b>
Coque	715,1
Moinha de coque	46,5
Alcatrão	39,0
Sulfato de Amônio	8,9 (2,4 kg de amônia)
Óleo leve	8,9
Gás	175

### 2.4 Custos para o carvão vegetal

#### 2.4.1 Produção de Carvão vegetal

Em geral, o ciclo que disponibiliza madeira para ser usada como lenha ou carvão vegetal começa com a limpeza do sub-bosque, seguido da derrubada das árvores e da remoção de madeira para uso comercial como lenha ou carvão vegetal. Concluindo o processo, os resíduos são queimados para implantação de pastagens ou cultura de soja. Em geral, os proprietários da terra interessam-se apenas pela área pronta para o plantio e não pela remoção da madeira.

O carvão vegetal representa em torno de 65% do custo de produção do ferro-gusa. Sendo assim, é necessário o investimento de tecnologias e métodos que resultem em maior eficiência econômica e ambiental no processo de carbonização [2]. Algumas empresas do setor vêm implantando sistemas de recuperação dos produtos gasosos para a geração de insumos químicos e energéticos. Entretanto, o carvão vegetal na sua maioria é produzido perto das florestas, em fornos de alvenaria, sem recuperação dos subprodutos. A utilização destes fornos primitivos implica perdas de 40 a 50% do poder calorífico. [3]

Um dos métodos de melhoria é o uso de retortas. Elas são equipamentos que empregam a combustão externa de gases recuperados da própria carbonização



para a geração do calor, e além de obter carvão de melhor qualidade e produtividade, permitem grandes produções num único equipamento. [4]

#### 2.4.2 Reflorestamento

A adoção de sistemas de produção mais eficientes e o reflorestamento com espécies de rápido crescimento, do ponto de vista econômico e ambiental, têm se mostrado viáveis. Nesse contexto, destacam-se os sistemas agroflorestais – sistemas de uso da terra nos quais espécies lenhosas são cultivadas de forma interativa com cultivos agrícolas, pastagens e animais, visando a múltiplos propósitos, produtos e serviços. Tais sistemas, se desenhados e manejados adequadamente, são lucrativos e sustentáveis, proporcionando controle à erosão, manutenção da biodiversidade, seqüestro de carbono, balanço de nutrientes e uso estratégico de fertilizantes, especialmente fósforo. [5]

A produção de uma tonelada de ferro-gusa são necessários 725 kg de carvão vegetal, cuja produção, por sua vez, requer a utilização de pelo menos 2.154 kg de madeira seca, que em termos médios tem uma densidade de 298 kg/m<sup>3</sup>, o que implica – quando se utiliza lenha originária de matas nativas – a necessidade de se recorrer a um desflorestamento de aproximadamente 500 m<sup>2</sup> de matas, se esta possuir um potencial madeireiro útil para a carbonização orbitando em torno de 120 estéreos por hectare (st/ha). A produção do carvão vegetal necessário à industrialização de uma tonelada de ferro-gusa requer a lenha contida em pelo menos 500 m<sup>2</sup> de mata nativa ou 0,05 hectares. [6]

A produção de ferro gusa no Brasil em 2007 atingiu 35 milhões de toneladas, levando a necessidade de cerca de 2 milhões de hectares, totalmente viável com a capacidade de Brasil que, hoje, possui 106 milhões de hectares ociosos; 5 milhões de hectares plantados de eucalipto; 40 milhões de hectares plantados para grãos e 220 milhões de hectares usados para pastagens. [7]

### **Governo quer estimular siderúrgicas a usar carvão de reflorestamento [25]**

Uma das propostas do governo para reduzir as emissões de gases de efeito estufa é fazer com que em oito anos as siderúrgicas passem a usar carvão vegetal de reflorestamento feito pelas próprias empresas. A idéia é convencer o setor das vantagens do chamado "aço verde", de acordo com a ministra-chefe da Casa Civil, Dilma Rousseff.

Para estimular o setor siderúrgico a operar nesse modelo seria firmado um acordo para concessão de incentivos ao setor, sem a necessidade de leis, de acordo com a avaliação de ministros. O selo "aço verde" poderia representar inclusive um diferencial de competitividade no exterior, segundo Dilma.

"Seria muito mais no sentido de criar incentivos financeiros, incentivos de todas as formas, inclusive essa percepção de que (o produto) é competitivo lá fora. Um aço carimbado de verde tem outra característica", afirmou Dilma.

O ministro do Meio Ambiente, Carlos Minc, citou como exemplo o caso da Moratória da Soja para mostrar a viabilidade de um acordo com o setor de siderurgia. Com a moratória, assinada em 2007 e renovada duas vezes, as empresas se comprometeram a não comprar soja produzida em áreas desmatadas.

Segundo Minc, o compromisso tem dado bons resultados e isso também pode acontecer com o setor siderúrgico sem necessidade de leis. "Estamos muito avançados com a siderurgia para fechar um acordo de que em aproximadamente oito anos eles plantem todas as árvores que precisam para o carvão vegetal. Um acordo sem necessidade de lei", disse Minc.

#### **2.4.3 Custos de transporte e frete.**

O custo de transporte e frete é inegavelmente mais barato para o carvão vegetal do que para o carvão mineral. Enquanto o carvão mineral sai de longas distâncias, vindo a navio e exigindo um excelente controle de estoques e uma excelente logística portuária. O carvão vegetal é produzido no próprio país e pode vir através de transportes rodoviário ou ferroviário. Uma coisa é clara: para guseiros, a única chance é a produção por carvão vegetal, já que não há verba suficiente para investimento em toda logística do carvão mineral.

Para as grandes siderúrgicas, a vantagem do carvão vegetal é o menor custo e a possibilidade de concentrar toda a atividade portuária nas exportações e outros produtos não possíveis de produção própria. A proximidade com o pólo produtor de carvão vegetal também pode facilitar a gestão dos estoques, evitando perdas e dividindo os desperdícios com os produtores.

Em último caso, os guseiros também devem utilizar esta facilidade para conseguir diminuir os preços do ferro-gusa e incentivando as usinas semi-integradas a comprarem seus produtos. E estas podendo concorrer mais fortemente com as usinas integradas.

#### 2.4.4. Perdas no alto forno

Grandes volumes de produção de gusa são inviáveis apenas com o carvão vegetal, demandando um balanço com o coque.

Em relação ao coque o carvão vegetal apresenta algumas características que explicam esta inviabilidade:

As taxas de produtividade (toneladas de gusa por m<sup>3</sup> de volume interno do forno por dia) observadas em alto-fornos a carvão vegetal são baixas enquanto que para fornos a coque, são altas. Os motivos são:

- O coque tem maior densidade, aumentando o tempo de residência da carga metálica e aumentando o rendimento gasoso;
- O coque tem maior resistência, reduzindo a degradação do coque (menor geração de finos – melhor permeabilidade);
- O coque tem menor higroscopicidade – o carvão vegetal absorve grande quantidade de água, que no interior do alto-forno provoca uma fragilização dos grãos que se rompem gerando finos.
- No alto-forno a carvão vegetal, a carga metálica ocupa cerca de 30% do volume do forno, e no alto-forno a coque este número é de 45%. Assim, para um mesmo ritmo de produção, deduz-se que no alto-forno a carvão vegetal, o tempo de residência da carga é de 1,5 vezes menor que o caso do coque. Com isto, no alto-forno a coque a carga permanece por um maior tempo na zona de preparação, favorecendo um menor consumo de carbono. [11]

#### 2.4.5. Problemas na produção do carvão vegetal

A oferta de carvão vegetal é instável, pois depende de condições edafoclimáticas, gerando desajustamento entre oferta, demanda e preço. Essas instabilidades nos preços são ocasionadas por flutuações estacionais e aleatórias no decorrer do ano. [1]

Além disso, os problemas tradicionalmente elencados com relação ao plantio do eucalipto, motivo de constantes debates até hoje e referem-se a suspeita de consumo excessivo de água e aos prejuízos ambientais e práticas que não atendem as comunidades locais e trabalhadores, principalmente o descumprimento da legislação trabalhista, particularmente a exploração de mão-de-obra infantil e as condições desumanas de trabalho nas carvoarias. Os que defendem o plantio do eucalipto argumentam sobre a importância do setor na economia do país, com geração de empregos e desenvolvimento para os estados e municípios. Entidades do setor silvicultural garantem que os problemas apresentados no cultivo do eucalipto já foram superados, com a introdução de novas tecnologias e a evolução no gerenciamento florestal pela adoção de novas regras para o cultivo, formalização do emprego e assistência ao trabalhador. [31]

#### 2.4.6 Produtos derivados da produção de carvão vegetal

Durante o processo de carbonização da madeira, o carvão é apenas uma fração dos produtos que podem ser obtidos. Caso sejam utilizados sistemas apropriados para a coleta, também podem ser aproveitados os condensados pirolenhosos (alcatrão vegetal) e os gases não condensáveis. A prática mais completa e eficiente, quando além do carvão vegetal (resíduo) são aproveitados os condensados e os gases não condensáveis da madeira, denomina-se "destilação seca", que pode ser implantada a partir da utilização de fornos especiais com recuperadores de fumaça.

Em termos de rendimento, a carbonização vegetal bem conduzida pode gerar até 40 kg de carvão vegetal a partir de 100 kg de madeira seca; ou seja, um rendimento de 40%. Neste mesmo processo, são gerados cerca de 61 kg de água incluindo uma umidade inicial de 30% e 13kg de óleo. Parte deste óleo apresenta-se solúvel em água formando o ácido pirolenhoso. Também podem ser recuperados ou utilizados como fonte de energia no processo 16 kg de gases não condensáveis (CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>) [22]

#### 2.4.7 O fator créditos de carbono

Os créditos de carbono são certificados gerados por projetos que, comprovadamente através de metodologias, reduzam ou absorvam emissões de gases do efeito estufa. Os compradores destes créditos são empresas ou governos de países desenvolvidos que precisam alcançar metas (instituídas pelo Protocolo de Quioto, pela própria empresa ou outros programas) de redução destas emissões, e os vendedores são diversificados dependendo do país de origem do projeto. [29]

O mercado funciona da seguinte forma: Os governos calculam quanto precisam diminuir e repassam essa informação às indústrias do país, estabelecendo uma cota para cada uma. Essas empresas podem adotar medidas de eficiência energética para atingir suas metas ou ir ao mercado e comprar créditos de carbono (um crédito de carbono equivale a 1 tonelada de dióxido de carbono). Daí a compensação: já que a empresa não vai conseguir reduzir suas emissões, ela compra esse "bônus" de terceiros.

Para que uma empresa tenha direito a vender créditos de carbono, precisa cumprir dois requisitos: contribuir para o desenvolvimento sustentável e adicionar alguma vantagem ao ambiente, seja pela absorção de dióxido de carbono (por exemplo, com o plantio de árvores), seja por evitar o lançamento de gases do efeito estufa na atmosfera - a quantidade de CO<sub>2</sub> que ela retirar ou deixar de despejar na atmosfera é que pode ser convertida em créditos de carbono. Do total desses créditos disponíveis para venda no mercado, 15% vêm do Brasil. [33]

### 3. Análise de Sensibilidade

#### 3.1 Metodologia

A comparação será feita entre os dois combustíveis para alto-forno: carvão-vegetal e coque. No entanto, os preços usados serão o das matérias-primas (o próprio carvão vegetal e o carvão metalúrgico), já que o usual é as empresas transformarem o carvão mineral em coque para então usá-lo no alto-forno.

Outros parâmetros são os seguintes:

#### 3.1.1. Quantidade de combustível necessária para produção anual de 1 milhão de toneladas de ferro-gusa.

Como observado na tabela 4, a quantidade de coque necessária para a produção de 1 tonelada de ferro-gusa é – aproximadamente – 500 kg. Assim, a produção anual de coque necessária seria de 1 milhão de toneladas.

Na mesma tabela, temos a relação da necessidade de carvão vegetal para a produção de ferro-gusa, que é de 2,5 m<sup>3</sup> por tonelada, correspondendo a uma produção anual de 5 milhões de m<sup>3</sup> para abastecer a usina.

#### 3.1.2. Investimento inicial para construção da coqueria

Como observado no tópico 2.2.1, para a produção necessária de 1 milhão de toneladas de coque (necessidade prevista no tópico anterior), o preço de investimento seria de U\$ 260 milhões. Em valores atuais (R\$1,81/U\$1), o valor seria de R\$ 470 milhões.

#### 3.1.3. Investimento em infra-estrutura portuária

Como os preços de carvão mineral utilizados serão os preços FOB, onde todo o transporte é feito por conta do vendedor, iremos considerar apenas o custo de construção de um porto para recebimento. Como tratado no tópico 2.2.3., a Usiminas gastou cerca de R\$1,8 bilhão para uma capacidade de 25 milhões de toneladas anuais. Nossa necessidade será de 1,4 milhões de toneladas de carvão mineral por ano. Iremos estimar uma proporção e considerar o valor final em R\$100,8 milhões.

#### 3.1.4. Preço da matéria-prima.

No caso do carvão vegetal, como ele é diretamente o combustível do alto-forno, será utilizado diretamente este preço como preço de combustível. O preço

atual do carvão vegetal, como observado na tabela 4, é de R\$ 120 / m<sup>3</sup> de carvão, para abastecer a produção de carvão vegetal necessária, seriam gastos R\$ 600 milhões anuais em carvão vegetal na compra de 5 milhões de metros cúbicos.

No caso do coque, todas as siderúrgicas compram o carvão mineral e o transformam em coque nas suas próprias coquearias, então será usado o preço de compra do carvão mineral metalúrgico que tem um preço aproximado de R\$ 307 / t carvão e a necessidade seria de 1,4 milhão de toneladas, totalizando um gasto de R\$ 429,8 milhões por ano na compra deste combustível.

### 3.1.5. Produção de energia através da coqueria

Dados da SunCoke informam que a coqueria independente com a capacidade exigida (1 milhão t / ano) com potência de 100 MW. O valor considerado foi o preço da energia (R\$135 MWh) com esta produção.

### 3.1.6. Taxa de oportunidade.

Para verificarmos a viabilidade de uma substituição do carvão vegetal pelo coque vamos utilizar alguns conceitos econômicos simplificados. Em economia existem muitos tipos de financiamentos, pagamentos e negociações diferentes, com a mesma quantidade de capital, pode-se escolher diferentes tipos de investimento, tudo dependerá de como o investidor encarará os casos com maior probabilidade de lucro visto sua garantia de segurança e como ele executará suas ações. Uma empresa que possui capital suficiente para construir uma coqueria efetuando pagamento a vista dificilmente o fará se achar que investindo na logística portuária terá um retorno maior do que os juros que serão cobrados do financiamento da coqueria.

Vamos expor alguns conceitos econômicos:

**Custo de oportunidade:** é um termo usado na economia para indicar o custo de algo em termos de uma oportunidade renunciada, ou seja, o custo, até mesmo social, causado pela renúncia do ente econômico, bem como os benefícios que poderiam ser obtidos a partir desta oportunidade renunciada ou, ainda, a mais alta renda gerada em alguma aplicação alternativa. [27]

**Taxa Selic:** É a taxa apurada no Selic, obtida mediante o cálculo da taxa média ponderada e ajustada das operações de financiamento por um dia, lastreadas em títulos públicos federais e cursadas no referido sistema ou em câmaras de compensação e liquidação de ativos, na forma de operações compromissadas. Esclarecemos que, neste caso, as operações compromissadas são operações de venda de títulos com compromisso de recompra assumido pelo vendedor, concomitante com compromisso de revenda assumido pelo comprador, para liquidação no dia útil seguinte. Ressaltamos, ainda, que estão aptas a realizar operações compromissadas, por um dia útil, fundamentalmente as instituições financeiras habilitadas, tais como bancos, caixas econômicas, sociedades corretoras de títulos e valores mobiliários e sociedades distribuidoras de títulos e valores mobiliários. [28]

Assim, encararemos o custo de oportunidade – a princípio – como a taxa Selic, já que é o mínimo que uma empresa poderá ganhar, com garantia de lucro. Um estudo mais detalhado poderia incluir juros de longo prazo ou outras oportunidades econômicas, mas fugiria do foco do trabalho.

O valor da taxa selic a ser utilizado será do último dado: 8,75% ao ano.

### 3.1.7. Resultados dos créditos de carbono

Os valores utilizados serão dos últimos resultados de negociações das RCEs – Reduções Certificadas das Emissões que são os créditos de carbono comercializados sob o âmbito dos mecanismos de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, o equivalente a 1 tonelada de CO<sub>2</sub> está sendo negociado por volta de € 10. [23]

Cada metro cúbico de madeira para produção de carvão vegetal armazena cerca de 0,8 toneladas de dióxido de carbono [30].

Assim, multiplicamos o necessário de metro cúbico de madeira necessária para abastecimento pela quantidade de dióxido de carbono armazenável e multiplicamos pelo preço dos créditos, encontrando um atenuante anual para o custo com carvão vegetal.



### 3.1.8. Simplificações na análise.

Não será considerada a geração dos outros subprodutos que estão tanto na produção de coque quanto na de carvão vegetal.

Será considerado que o preço de investimento na tecnologia Heat Recovery esteja vinculado com o preço de construção da coqueria.

## 4. Resultados de Cenários

Os modos de construção dos cenários foram os seguintes:

Avaliou-se a os custos iniciais de construção de coqueria e infra-estrutura portuária como investimento inicial. Depois foi feito uma diferença entre o valor anual gasto na alimentação através de coque e carvão vegetal, junto com a possível geração de energia. O custo de oportunidade foi o mesmo ano a ano. Um valor positivo no resultado final resultaria em investimento através de coque mais rentável em valores financeiros.

O período considerado foi de 30 anos que seria o tempo de vida útil “bom”

### 4.1. Cenário 1 – Valores atuais, sem a tecnologia Heat Recovery.

Tabela 6 – Variáveis e preços do Cenário 1

Variável	Unidade	Valor
Construção da coqueria	R\$ x 10 <sup>6</sup>	470
Infra-estrutura portuária	R\$ x 10 <sup>6</sup>	100,8
Preço Carvão Vegetal	R\$ / m <sup>3</sup>	120
Preço Carvão Mineral	R\$ / t	307
Taxa de Oportunidade	%	8,75

Tabela 7 – Resultados para o cenário 1

Período	Resultado (R\$)	Período	Resultado (R\$)
ano 1	- 450.745.000	ano 16	3.308.123.884
ano 2	- 320.185.188	ano 17	3.767.584.724
ano 3	- 178.201.391	ano 18	4.267.248.387
ano 4	- 23.794.013	ano 19	4.810.632.621
ano 5	144.124.011	ano 20	5.401.562.976
ano 6	326.734.862	ano 21	6.044.199.736
ano 7	525.324.162	ano 22	6.743.067.213
ano 8	741.290.026	ano 23	7.503.085.594
ano 9	976.152.903	ano 24	8.329.605.584
ano 10	1.231.566.283	ano 25	9.228.446.072
ano 11	1.509.328.332	ano 26	10.205.935.103
ano 12	1.811.394.561	ano 27	11.268.954.425
ano 13	2.139.891.585	ano 28	12.424.987.937
ano 14	2.497.132.099	ano 29	13.682.174.382
ano 15	2.885.631.158	ano 30	15.049.364.640

Pelo resultado, vemos que – com os valores atuais, mesmo não considerando a tecnologia de recuperação de energia pelo sistema Heat Recovery, ainda assim o investimento em coque é mais válido com uma boa vantagem ao longo de 30 anos.

#### 4.2. Cenário 2 – Valores atuais, com a tecnologia Heat Recovery.

Tabela 8 – Variáveis e preços do Cenário 2

Variável	Unidade	Valor
Construção da coqueria	R\$ x 10 <sup>9</sup>	470
Infra-estrutura portuária	R\$ x 10 <sup>6</sup>	100,8
Preço Carvão Vegetal	R\$ / m <sup>3</sup>	120
Preço Carvão Mineral	R\$ / t	307
Taxa de Oportunidade	%	8,75
Preço de Energia	MWh	135

Tabela 9 – Resultados para o cenário 2

Período	Resultado (R\$)	Período	Resultado (R\$)
ano 1 -	332.485.000	ano 16	7.129.052.113
ano 2 -	73.317.438	ano 17	8.041.104.173
ano 3	208.527.287	ano 18	9.032.960.788
ano 4	515.033.424	ano 19	10.111.604.857
ano 5	848.358.849	ano 20	11.284.630.282
ano 6	1.210.850.248	ano 21	12.560.295.432
ano 7	1.605.059.645	ano 22	13.947.581.282
ano 8	2.033.762.364	ano 23	15.456.254.645
ano 9	2.499.976.571	ano 24	17.096.936.926
ano 10	3.006.984.521	ano 25	18.881.178.907
ano 11	3.558.355.666	ano 26	20.821.542.061
ano 12	4.157.971.787	ano 27	22.931.686.992
ano 13	4.810.054.318	ano 28	25.226.469.603
ano 14	5.519.194.071	ano 29	27.722.045.694
ano 15	6.290.383.552	ano 30	30.435.984.692

Percebe-se que quando inserimos o preço para recuperação de energia, o resultado a favor do coque é muito maior, praticamente dobrando o valor final.

#### 4.3. Cenário 3 – Inserção dos valores de crédito de carbono.

Tabela 10 – Variáveis e preços do Cenário 3

Variável	Unidade	Valor
Construção da coqueria	R\$ x 10 <sup>5</sup>	470
Infra-estrutura portuária	R\$ x 10 <sup>6</sup>	100,8
Preço Carvão Vegetal	R\$ / m <sup>3</sup>	120
Preço Carvão Mineral	R\$ / t	307
Taxa de Oportunidade	%	8,75
Preço de Energia	MWh	135
1 tonelada de carbono	€	10

Tabela 11 – Resultados para o Cenário 3

Período	Resultado (R\$)	Período	Resultado (R\$)
ano 1 -	383.885.000	ano 16	5.468.340.876
ano 2 -	180.614.938	ano 17	6.183.680.702
ano 3	40.441.255	ano 18	6.961.612.764
ano 4	280.839.865	ano 19	7.807.613.880
ano 5	542.273.354	ano 20	8.727.640.095
ano 6	826.582.272	ano 21	9.728.168.603
ano 7	1.135.768.221	ano 22	10.816.243.356
ano 8	1.472.007.940	ano 23	11.999.524.650
ano 9	1.837.668.635	ano 24	13.286.343.057
ano 10	2.235.324.640	ano 25	14.685.758.074
ano 11	2.667.775.546	ano 26	16.207.621.905
ano 12	3.138.065.907	ano 27	17.862.648.822
ano 13	3.649.506.674	ano 28	19.662.490.594
ano 14	4.205.698.508	ano 29	21.619.818.521
ano 15	4.810.557.127	ano 30	23.748.412.642

Observamos que mesmo com o fator créditos de carbono sendo um atenuante, ele não consegue impactar muito no resultado final a favor do investimento em coqueria.

#### 4.4. Cenários de variações de preço de carvão vegetal mineral.

Com todas as variáveis a serem utilizadas, o resultado continuou positivo a favor da política do coque. Mas como o carvão mineral, que é matéria prima fundamental para o coque, varia muito no mercado externo sem controle do Brasil e como o carvão vegetal tem muito a evoluir em termos de tecnologia, vamos imaginar diversos cenários em que se dá uma diminuição dos preços do carvão vegetal e do carvão mineral.

Tabela 12 – Redução do preço do carvão vegetal

<b>Redução</b>	<b>Valor (R\$ / t gusa produzido)</b>	<b>Recuperação</b>	<b>Custo/lucro final (R\$)</b>
0%	300	3	23.748.412.642
10%	270	4	15.941.908.303
20%	240	7	8.135.403.964
30%	210	26	328.899.625
30,4%	209	30	-

Tabela 13 – Aumento do preço do carvão mineral

<b>Aumento</b>	<b>Valor (R\$ / t gusa produzido)</b>	<b>Recuperação</b>	<b>Custo/lucro final (R\$)</b>
0%	215	3	23.748.412.642
10%	237	4	18.153.751.199
20%	258	5	12.559.089.756
30%	280	8	6.964.428.313
42%	306	30	-

Tabela 14 – Aumento do preço do carvão mineral e redução do preço do carvão vegetal

<b>Aumento / redução</b>	<b>Recuperação</b>	<b>Custo/lucro final (R\$)</b>
0,0%	3	23.748.412.642
5,0%	4	17.047.829.751
10,0%	6	10.347.246.860
15,0%	12	3.646.663.969
20,0%	+30 anos	- 3.053.918.922
18%	30	-

Nas tabelas acima, os primeiros valores se referem a evolução dos preços enquanto a última linha traz o preço em que não há distinção de investimento entre carvão vegetal e coque, com o mesmo resultado para os dois.

O resultado final, apesar de esperado, é um tanto surpreendente: com uma queda de 18% no preço atual do carvão vegetal, junto com um aumento de 18% no preço do carvão mineral, a escolha fica praticamente igual em critérios econômicos.

O gráfico abaixo nos dá uma visualização de como o resultado varia com os preços dos combustíveis. Quando o preço do carvão vegetal for próximo de R\$247 / t gusa produzido e o preço de carvão mineral for próximo de R\$253 / t gusa produzido, o resultado será nulo (indiferente investir em um meio ou outro).

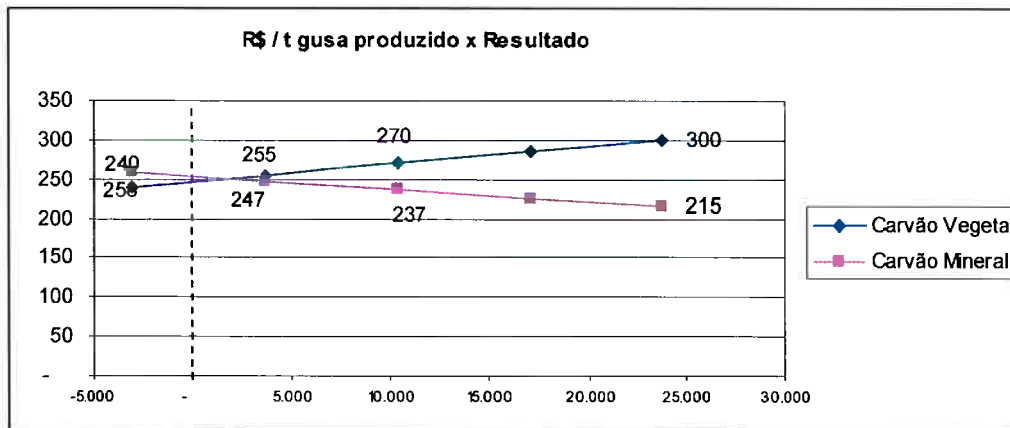


Gráfico 4 – Aumento de preço do carvão mineral com queda de preço do carvão vegetal.

## 5. Conclusão

Com as simulações realizadas, verificou-se que a redução de preço do carvão vegetal deverá ser de 30,4%. No caso de apenas aumento do preço do carvão mineral, este deverá ser de 42%. Mas quando o aumento do preço do carvão mineral for simultâneo a uma redução do preço do carvão vegetal, este valor deverá ser de apenas 18% para dar vantagem a produção de carvão vegetal. Um valor pequeno comparado as grandes variações do preço do carvão mineral importado nos meses pré-crise.

A vantagem do investimento no carvão vegetal se dará através dos seguintes fatores:

**Tecnologia:** desde o começo das práticas siderúrgicas, a produção de coque foi incentivada, atingindo praticamente seu auge de rendimento e de otimização. Isto não acontece com o carvão vegetal, que é uma tecnologia mais recente e pouco incentivada. Desta maneira, muito da produção – especialmente brasileira – de carvão vegetal tem usa métodos antigos e ultrapassados, causando um aumento no custo do combustível. Algumas propostas de otimização da produção ainda não consolidadas dizem diminuir o custo de produção do carvão vegetal em até 40% dos valores atuais. Isto já validaria a solução através do carvão vegetal.

**Instabilidade dos preços do carvão mineral:** A maior parte do carvão mineral usado nas siderúrgicas é importada, portanto o custo depende de moeda estrangeira e estabilidades internacionais, portanto causando oscilações que não dependem do governo brasileiro.

Cabe as siderúrgicas que hoje são integradas resolverem se a melhor alternativa é integrarem o processo de produção de carvão vegetal, ou ainda se tornarem siderúrgicas semi integradas, deixando a produção do ferro-gusa para terceiros. As vantagens desta última opção é focar na produção do aço e nos outros processos como laminação, a desvantagem é deixar a responsabilidade do ferro-gusa nas mãos de pequenos empreendedores que nem sempre estão preocupados com a evolução tecnológica do processo, fazendo com que o preço do carvão vegetal continue alto.

Já para as coquearias terceirizadas, resta investir no processo de produção de energia elétrica, que diminuiria ainda mais o custo do coque, possibilitando a concorrência com o carvão vegetal por muito mais tempo.



## 6. Bibliografia

- [1] REZENDE, J. L. P.; SILVA, A. A. L.; BARROS, A. A. A. Variação estacional dos preços do carvão vegetal no Estado de Minas Gerais: período de 1981-1987. Revista Árvore, Viçosa, v. 12, n.2, p. 146-155, 1988.
- [2] MUYLAERT, M.S; SALA, J.; FREITAS, M.A.V. The charcoal's production in Brazil – process efficiency and environmental effects. Renewable Energy, v. 16, p. 1037 – 1040, 1999.
- [3] DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R.F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, A. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF.
- [4] BRITO, J.O. Princípios de produção e utilização do carvão vegetal de madeira. Piracicaba: ESALQ, 1990. 19. (Documentos Florestais, 9)
- [5] DUBOC, E. Cerrado: sistemas agroflorestais potenciais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. (no prelo).
- [6] MONTEIRO, M. A. Carvoejamento, Desmatamento e Concentração Fundiária: repercussões da siderurgia no agrário regional. In: HOMA, Alfredo k. Amazônia: Meio Ambiente e Desenvolvimento Agrícola. Brasília: Embrapa-SPI, 1998.
- [7] TOLEDO, N. N. Biomassa do Brasil para o mundo. Gazeta Mercantil, São Paulo, 14 abr. 2006.
- [8] Nota técnica DEA 02/09. Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico brasileiro.
- [9] [http://www.abmbrasil.com.br/news/noticia\\_integra.asp?cd=3336](http://www.abmbrasil.com.br/news/noticia_integra.asp?cd=3336). Acessado em 25 de novembro de 2009

[10] BRINK, J. A.; SHREVE, R. N. (1997). Indústria de Processos Químicos. 4ª edição, Ed. Guanabara.

[11]

[http://www.ecolatina.com.br/pdf/anais/Workshop\\_Mudancas\\_Climaticas\\_Siderurgia/CarlosAlexandredeMiranda.pdf](http://www.ecolatina.com.br/pdf/anais/Workshop_Mudancas_Climaticas_Siderurgia/CarlosAlexandredeMiranda.pdf). Acessado em 11 de janeiro de 2010.

[12] AURELIO, M.; (2006). Uso de Carvão Vegetal no Alto-Forno.

[13] COELHO JUNIOR, L.M.; CALEGÁRIO, N.; REZENDE, J.L.P.; Sáfadi, T. (2006b). Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. Scientia Forestalis, n.7, p. 3948.

[14] BACHA, C.J.C; BARROS, A.L.M. (2004) Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. Scientia Forestalis, n.66, p. 191-203.

[15] COUTINHO, A.R. & FERRAZ, E.S.B. (1988). Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. IPEF, Piracicaba.

[16] CARVALHO, R.M.M.A; SOARES,; VALVERDE, S.R. (2005). Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. Ciência Florestal, Sta. Maria, V.15 nº1.

[17] ANDRADE, M. L. A.; CUNHA, L. M. S.; GANDRA, G. T. (1999). Reestruturação na siderurgia. BNDES setorial, n.9 p. 3-42

[18] INFOTEC / PRÓ CARVÃO (2000) Carbonização da madeira e produtos obtidos. Informativo Técnico do Programa de Qualificação a Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal do Estado de São Paulo, Piracicaba, SP, ano 1, n.1.

- [19] KLOCK, U.; MUNIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. (2005). Química da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 3º Ed., Curitiba, 86p.
- [20] VITAL, B.R.; ALMEIDA, J.; VALENTE, O.F.; PIRES, I.E.(1994). Características das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. IPEF, nº47.
- [21] UHLIG, A. Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo. 2008. 124 p.
- [22] BENITES, V. M.; WENCELSAU, G. T.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S.; Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: Aprendendo com as terras pretas de índio.
- [23] [http://recursosdobrasil.blogspot.com/2009/12/cancelado-o-1-leilao-de-credito-de\\_2667.html](http://recursosdobrasil.blogspot.com/2009/12/cancelado-o-1-leilao-de-credito-de_2667.html). Acessado em 12 de janeiro de 2010.
- [24] DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, (2008). Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado.
- [25] <http://www.guiadasiderurgia.com.br/novosb/component/content/article/140-materias54/1352-usiminas-descontamina-area-para-construir-porto>. Acessado em 12 de setembro de 2009
- [26] FARIA, E. C.; (2007). Logística de abastecimento de carvão mineral importado para o sistema Usiminas. SEMINÁRIO DE LOGÍSTICA, 25., 2006, Santos. São Paulo: ABM, 2006.
- [27] [http://pt.wikipedia.org/wiki/Custo\\_de\\_oportunidade](http://pt.wikipedia.org/wiki/Custo_de_oportunidade) . Acessado em 15 de novembro de 2009
- [28] <http://www.bcb.gov.br/?SELICDESCRICAO> . Acessado em 15 de novembro de 2009.

[29] <http://www.revistameioambiente.com.br/2008/03/28/creditos-de-carbono/> Acessado em 16 de novembro de 2009.

[30] [http://www.hengenharia.com.br/new\\_page\\_6.htm](http://www.hengenharia.com.br/new_page_6.htm). Acessado em 24 de novembro de 2009.

[31] [http://www.almg.gov.br/Publicacoes/Eucalipto/brasil\\_minas.pdf](http://www.almg.gov.br/Publicacoes/Eucalipto/brasil_minas.pdf). Acessado em 15 de outubro de 2009.

[32] <http://www.suncoke.com.br/index.php?id=/geracao/index.php> Acessado em 9 de setembro de 2009

[33] [http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/conteudo\\_260001.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/conteudo_260001.shtml). Acessado em 16 de outubro de 2009

[34] <http://www.abb.com.br/cawp/seitp202/558680e4b4961f78832575850043054a.aspx>. Acessado em 24 de novembro de 2009.