

ANA CECÍLIA PONTES RODRIGUES

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE
CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

São Paulo
2010

ANA CECÍLIA PONTES RODRIGUES

**INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE
CARVÃO VEGETAL NO BRASIL**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo.

Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Breda
Mourão

São Paulo
2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Cecília e Iram,
que me ensinaram a enfrentar os obstáculos
no caminho de quem se permite sonhar.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Marcelo Breda Mourão, por aceitar esta aventura. Pela compreensão e pelas ricas discussões que foram essenciais para o amadurecimento tanto pessoal quanto do trabalho em si.

Agradeço à Profa. Maria Helena Antuniassi e ao Shigueo Watanabe Jr. por me nortearem na abordagem de questões que não fazem parte de minha especialidade. Foram conversas decisivas para a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Aílton Teixeira do Vale, pela gentileza de enviar artigos seus que não estão disponíveis em formato eletrônico.

Aos colegas Pedro Guimarães Naso, Martim Kurauchi, César Yuji Narita e Beatriz Amaral do Campos, pelo compartilhamento de informações sobre esse tema extenso que é o carvão vegetal, assim como pelo apoio mútuo.

Aos meus pais, Cecília e Iram, pelo apoio incondicional durante toda a minha graduação. Que mesmo diante das adversidades recentes foram capazes de me ajudar neste trabalho com valiosas críticas e sugestões.

Ao Renato Chencinski, por toda a paciência, carinho e dedicação.

RESUMO

Durante a última década, acompanhou-se o amadurecimento das preocupações com o meio ambiente e as mudanças climáticas. O aquecimento global é em teoria resultado das emissões dos gases de efeito estufa, e a siderurgia é responsável por 3 a 4% das emissões de gases de efeito estufa antropogênicos. O carvão vegetal surge para a produção de gusa, como uma opção carbono neutra, por fixar o CO₂ da atmosfera durante seu crescimento. Discute-se neste trabalho, o desenvolvimento sustentável da produção de gusa no Brasil levando em consideração aspectos econômicos, ambientais e sociais do emprego de carvão vegetal como agente termo redutor. Foram estudados e até propostos alguns indicadores para cada uma das bases do desenvolvimento sustentável, a partir destes indicadores, comparou-se a utilização de carvão vegetal oriundo de mata nativa brasileira e de floresta plantada. O resultado deste estudo foi a constatação de que o carvão vegetal produzido a partir de floresta plantada pode ser considerado sustentável, enquanto que o carvão oriundo de mata nativa é uma alternativa pouco ou nada sustentável pois contribui para o desmatamento do Cerrado e Amazônia brasileiras, além de, por vezes, apresentar problemas no campo social.

ABSTRACT

The concerns towards the environment and climate changes became mature over the past decade. In theory, global warming is caused by the emission of greenhouse effect gases, and the steel industry is responsible for 3 to 4% of the anthropogenic emissions. In this *scenario*, charcoal is considered a carbon neutral alternative for the production of pig iron, for it captures the CO₂ in the atmosphere to fix it into wood products. The sustainable development of the pig iron production is discussed in the work taking in account economical, environmental and social aspects of the use of charcoal in the pig iron industry. Sustainability indicators were used to compare the charcoal produced from planted forests and from native forest. The study found out that the charcoal produced from planted forests may be considered sustainable, whereas the charcoal produced from native forest is little or not at all sustainable for it is responsible for the deforestation of Brazilian rainforests and is still linked to many social issues.

Lista de Equações

| | |
|---|----|
| Equação 1: Carbonização de lenha para produção de carvão vegetal.[8]..... | 17 |
| Equação 2: Fração de carvão oriundo de florestas plantadas sobre o total de carvão produzido..... | 35 |
| Equação 3: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem..... | 36 |
| Equação 4: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem..... | 36 |
| Equação 5: Volume de CO ₂ capturado por hectare de mata nativa por ano..... | 37 |
| Equação 6: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem..... | 46 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Carvão vegetal produzido a partir de floresta plantada de eucalipto [9]..... | 18 |
| Figura 2: Fornos meda ou rabo-quente em operação [10]..... | 19 |
| Figura 3: Fornos de alvenaria com melhorias tecnológicas em relação aos fornos Meda. [10]..... | 21 |
| Figura 4: Diagrama ilustrativo de uma das definições de desenvolvimento sustentável [16]..... | 24 |
| Figura 5: Floresta plantada de eucalipto [9]. | 30 |

Lista de Gráficos

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Uso energético da madeira do carvão vegetal no Brasil. Adaptado de [27]. | 15 |
| Gráfico 2: Participação de cada forno na produção total brasileira. Adaptado de [2,3]. | 21 |
| Gráfico 3: Investimento em milhões de dólares nos parques siderúrgicos brasileiros já existentes, de 1994 a 2008. [17]. | 25 |
| Gráfico 4: Evolução do preço do carvão vegetal e do gusa de duas regiões no Brasil. [18]. | 26 |
| Gráfico 5: Produção anual de 2002 a 2008 de usinas integradas e produtores independentes. Adaptado de [17]. | 40 |
| Gráfico 6: Comparativo entre participação dos diferentes custos na produção do carvão vegetal oriundo de extrativismo e produzido a partir de florestas plantadas. Elaborado a partir de [2]. | 41 |
| Gráfico 7: Origem do carvão vegetal produzido no Brasil de 1976 a 2008. Adaptado de [11]. | 43 |
| Gráfico 8: Parcela de floresta plantada utilizada na produção total de carvão vegetal no Brasil. Adaptado de [11]. | 44 |
| Gráfico 9: Parcela de carvão proveniente de florestas plantadas sobre total de carvão produzido e crescimento com referência no valor de 1976 para a produção de carvão vegetal no Brasil. Adaptado de [11]. | 45 |
| Gráfico 10: Absorção de gases de efeito estufa por 2.762 hectares de floresta plantada de eucalipto e áreas de reflorestamento e florestamento para a preservação do Cerrado. Adaptado de [25]. | 48 |
| Gráfico 11: Índice de GEE absorvido por hectare de floresta. Adaptado de [25]. | 49 |
| Gráfico 12: Fração de trabalhadores sem registro nas 11 empresas (numeradas de 1 a 11 na legenda) associadas ao ICC (Instituto Carvão Cidadão). Adaptado de [26]. | 51 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Produção nacional de ferro-gusa de 2002 a 2009 por fabricante, discriminado em produtores a partir do carvão vegetal e carvão mineral. Adaptado de [17]..... | 14 |
| Tabela 2: Principais Produtos da Carbonização [7]..... | 17 |
| Tabela 3: Moeda de carbono equivalente segundo IPCC de 1996 e IPCC de 2001. | 27 |
| Tabela 4: Rendimentos gravimétricos de espécies encontradas na literatura e o indicador normalizado de rendimento gravimétrico para cada uma das espécies. Adaptado de [23, 24]..... | 47 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | O Carvão Vegetal | 13 |
| 1.2 | Produção de carvão vegetal | 16 |
| 1.2.1 | Carbonização | 16 |
| 1.2.2 | Fornos | 18 |
| 1.3 | Sustentabilidade | 23 |
| 1.4 | Importância econômica | 24 |
| 1.5 | Impactos ambientais | 28 |
| 1.6 | Impactos sociais | 31 |
| 2 | OBJETIVO | 33 |
| 3 | METODOLOGIA | 34 |
| 3.1 | Aspectos estudados | 34 |
| 3.2 | Índices | 34 |
| 3.2.1 | Aspectos e índices econômicos | 35 |
| 3.2.2 | Aspectos e índices de impacto ambiental | 35 |
| 3.2.3 | Aspectos e índices de impacto social | 37 |
| 4 | RESULTADOS | 40 |
| 4.1 | Aspectos e índices econômicos..... | 40 |
| 4.2 | Aspectos e índices de impacto ambiental..... | 42 |
| 4.3 | Aspectos e índices de impacto sociais..... | 50 |
| 5 | CONCLUSÃO | 53 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA | 55 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Carvão Vegetal

No Brasil, a utilização do carvão vegetal como termo redutor na siderurgia está intimamente ligado ao processo de industrialização.

Após o choque do preço do petróleo em 1973, o carvão surgiu com força como combustível à medida que o Governo Federal estimulou a substituição do óleo pela biomassa em diversos setores da produção industrial.

Contudo, segundo Menezes, em [1], foi na siderurgia que o carvão vegetal ganhou mais espaço, devido ao fato de o carvão vegetal ser usado na redução do minério de ferro, como combustível e agente redutor.

Enquanto as barreiras ambientais eram desprezíveis ou de fato inexistentes, o carvão vegetal viabilizou a implantação de usinas de pequena capacidade, compatíveis com a ampliação do mercado de aço. Isso se deu devido ao baixo custo e facilidade de produção. [1]

A redução do minério de ferro utiliza uma fonte de carbono, coque ou carvão vegetal, para que se obtenha ferro-gusa, uma liga com 4 a 4,5% de carbono.

Quando se utiliza o carvão vegetal para a produção de gusa, por conta da composição do carvão vegetal em comparação ao coque, obtém-se um produto com menores teores de enxofre fósforo e outros elementos, que são indesejáveis para a composição final do aço.

Há três matérias primas básicas para a obtenção de ferro-gusa: uma fonte de ferro (minério, pelotas ou sinter), coque ou carvão vegetal, e fundente. [2]

O carvão vegetal é consumido principalmente em usinas não integradas que possuem como produto final o ferro-gusa.

A relação técnica entre a quantidade de carvão e a quantidade de minério de ferro é do tipo “proporções fixas”. O fato de possuir uma proporção fixa entre os insumos implica no aumento linear de carvão e minério em relação ao aumento na produção final de ferro-gusa, isto é, quando se quer dobrar a quantidade de gusa produzido, deve-se dobrar a quantidade de insumos no processo. [2]

Publicado em 2008 e revisto em 2009, o planejamento estratégico do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) previa que a capacidade produtiva da indústria siderúrgica nacional chegaria a cerca de 60 milhões de toneladas/ano de aço até 2016, representando um aumento de cerca de 46% em relação à capacidade de 2009, que totalizava 41 milhões de toneladas/ano de aço. Mantendo as proporções de produtores integrados e independentes, esse aumento até 2016 significaria um crescimento de 4,5 milhões de toneladas/ano de gusa com base no carvão vegetal em relação à produção atual. [2]

Na tabela 1 a seguir, é apresentada a produção nacional de 2002 a 2008 por empresa ou produtor independente discriminados pelo tipo de insumo que cada uma utiliza, carvão mineral ou vegetal. Deve-se atentar, contudo, que o estudo que gerou a tabela 1 não levou em consideração o efeito da crise recente. [2]

Tabela 1: Produção nacional de ferro-gusa de 2002 a 2009 por fabricante, discriminado em produtores a partir do carvão vegetal e carvão mineral. Adaptado de [17].

| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Carvão Mineral | | | | | | | |
| ArcelorMittal Aços Longos | 971 | 1002 | 1090 | 1102 | 1104 | 1408 | 1308 |
| ArcelorMittal Tubarão | 5024 | 4790 | 4971 | 4843 | 5094 | 5992 | 6638 |
| CSN | 4961 | 5211 | 5372 | 4969 | 3345 | 5114 | 4852 |
| Gerdau | 3080 | 3619 | 3619 | 3658 | 3674 | 3694 | 4499 |
| Usiminas | 8091 | 8426 | 8615 | 8329 | 8462 | 8436 | 7840 |
| Total Carvão Mineral | 22127 | 23048 | 23667 | 22901 | 21679 | 24644 | 25137 |
| Carvão Vegetal | | | | | | | |
| ArcelorMittal Inox Brasil | 536 | 589 | 641 | 628 | 702 | 689 | 645 |
| V&M do Brasil | 476 | 533 | 593 | 581 | 604 | 610 | 588 |
| Fabricantes independentes | 6555 | 7869 | 9657 | 9774 | 9467 | 9628 | 8342 |
| Total Carvão Vegetal | 7567 | 8991 | 10891 | 10983 | 10773 | 10927 | 9575 |
| Total Geral | 29694 | 32039 | 34558 | 33884 | 32452 | 35571 | 34712 |

A partir da tabela 1 é visível a diferença na utilização de fontes de carbono de origem mineral e de origem vegetal. Por volta de um terço da produção nacional de ferro-gusa é feita a partir do carvão vegetal, sendo os produtores independentes os responsáveis pela esmagadora maioria dessa produção a carvão vegetal.

Pode-se ainda inferir que as grandes empresas que produzem gusa a partir do carvão vegetal têm um volume muito menor de produção que aquelas que utilizam o

coque (carvão mineral coqueificado).

O consumo pelas carvoarias consome um terço da lenha produzida no Brasil, que por sua vez, corresponde a 12% da matriz energética do país, atrás de petróleo e derivados, produtos da cana e hidroeletricidade. No gráfico a seguir é possível visualizar qual a porcentagem de madeira destinada à produção de carvão vegetal nos anos de 2006, 2007 e 2008.

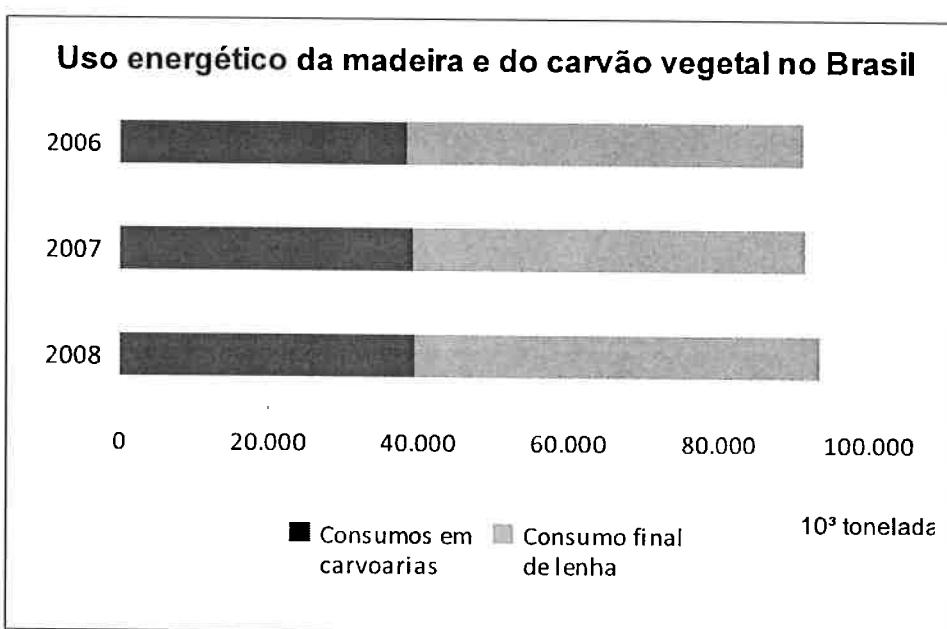


Gráfico 1: Uso energético da madeira do carvão vegetal no Brasil. Adaptado de [27].

Apesar de todas as vantagens listadas, de 1994 a 2004, a participação relativa na produção total de ferro-gusa no Brasil mostra um decréscimo de apenas 2% no consumo de carvão mineral e um acréscimo de 16% no consumo de carvão vegetal.

[3]

Com base no cenário brasileiro do passado e do presente é que se discute neste trabalho o panorama do carvão vegetal e indicadores de sustentabilidade possíveis.

1.2 Produção do Carvão Vegetal

“Todos os sentidos do observador são tocados ao se aproximar de uma carvoaria. Em um local plano, escolhido por exigência do processo em meio à mata, depara-se com a fileira de fornos semelhantes a iglus envolvidos pela fumaça, cujo cheiro forte faz arder os olhos e impregna tudo e todos ao redor. Pilhas de madeira esperam a vez de ir para o forno e montes de carvão, às vezes, ainda fumegantes, pelo ensacamento. Os trabalhadores, geralmente seminus, têm o corpo coberto pela fuligem e deles, muitas vezes, somente se veem os olhos e os dentes.” [4]

Hoje, a produção de carvão vegetal no Brasil corresponde a 30% da produção mundial. O sistema predominante de produção de carvão vegetal é constituído de fornos de alvenaria e argila, comumente chamados de fornos meia-laranja, rabo-quente, ou Meda. Podem se apresentar na forma de fornos de superfície quando o terreno é plano ou fornos de encosta quando localizados em região de topografia acidentada. [3]

Para que ocorra a transformação da madeira em carvão vegetal, estes fornos são capazes de carbonizar diferentes volumes de lenha, variando normalmente na faixa de 6 a 20 estéreos, isto é, a quantidade de lenha que pode ser empilhada ordenadamente em um metro cúbico. [5]

1.2.1 Carbonização

O carvão vegetal é obtido na pirólise mediante a ação do calor que elimina a maior parte dos componentes voláteis da madeira. Vem daí o nome que muitas vezes se dá ao processo de “destilação seca da madeira”.

A ação do calor sobre a madeira, que é um material predominantemente orgânico, implica na sua degradação. Esse fenômeno recebe o nome de pirólise e resulta em carvão, cinzas e fumos. [6]

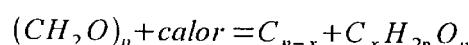
Na tabela 2 a seguir, são colocados com base na literatura os produtos típicos da

carbonização da madeira e a porcentagem dos mesmos em base seca.

Tabela 2: Principais Produtos da Carbonização [7].

| Produtos da Carbonização | % Base Seca |
|------------------------------|-------------|
| Carvão (80% Carbono Fixo) | 33,0 |
| Ácido Pirolenhoso | 35,5 |
| (Ácido Acético) | (5,0) |
| (Metanol) | (2,0) |
| (Alcatrão Solúvel) | (5,0) |
| (Água e outros) | (23,5) |
| Alcatrão Insolúvel | 6,5 |
| Gases Não-Condensáveis (GNC) | 25 |
| Total | 100 |

A pirólise do carvão vegetal consiste no aquecimento de lenha na ausência de ar suficiente para combustão completa, e pode ser representado pela equação 1 abaixo:



Equação 1: Carbonização de lenha para produção de carvão vegetal.[8]

O aquecimento libera parte dos voláteis da lenha, obtendo um produto com 70 a 90% de carbono fixo, relativamente leve e de queima limpa. O processo de carbonização, ou carvoejamento, como é conhecido, pode ser expresso em quatro etapas:

- Secagem da lenha, a uma temperatura que pode variar entre 100 e 200°C. O calor necessário para manter a temperatura de secagem provém da queima de parte da lenha na própria câmara de

- carbonização, em fornos mais rudimentares, ou de uma câmara própria para combustão, em fornos mais avançados;
- Pré-carbonização ocorre no intervalo entre 180-200° e 250-300° e corresponde à fase endotérmica da carbonização, em que uma fração de líquido pirolenhoso e uma quantidade pequena de gases não-condensados é obtido;
 - Carbonização, rápida e exógena (i.e. Originada de fora), a reação inicia entre 250 e 300°C onde parte da lenha é carbonizada e a maior parte do alcatrão solúvel e ácidos pirolenhosos é liberada;
 - Carbonização final, acima de 300°C, onde a maior parte do carvão vegetal é obtida. [8]

Carvão vegetal oriundo de floresta plantada pode ser observado na figura 1 abaixo.



Figura 1: Carvão vegetal produzido a partir de floresta plantada de eucalipto [9].

1.2.2 Fornos

Os fornos de produção de carvão vegetal diferem entre si principalmente na origem do calor necessário para a combustão da lenha.

A origem deste calor pode ser classificada de duas formas:

- a) sistema de combustão parcial ou fonte interna de energia, onde 10% a 20% do peso da carga são sacrificados,
- b) sistema que utiliza fonte externa de energia a partir do uso de aquecimento elétrico, ou ainda, da queima de outros combustíveis introduzindo o calor na carga, cujo rendimento de processo é, portanto maior, visto que teoricamente não há sacrifício de parte da madeira por combustão. [6]

Na pirólise artesanal, que é o principal processo presente no Brasil, este é realizado com o contato direto entre fogo e lenha.

O forno Meda, mais conhecido como rabo-quente, ainda é o mais utilizado no Brasil, mesmo sendo um forno de tecnologia ultrapassada e altamente primitivo. Para ilustrar a precariedade destes fornos, uma fileira de fornos Meda pode ser vista na figura 2 abaixo.



Figura 2: Fornos meda ou rabo-quente em operação [10].

São fornos de tijolos comuns e assentados com barro e apesar do baixo custo e pouca dificuldade de implementação, estes fornos apresentam normalmente baixos

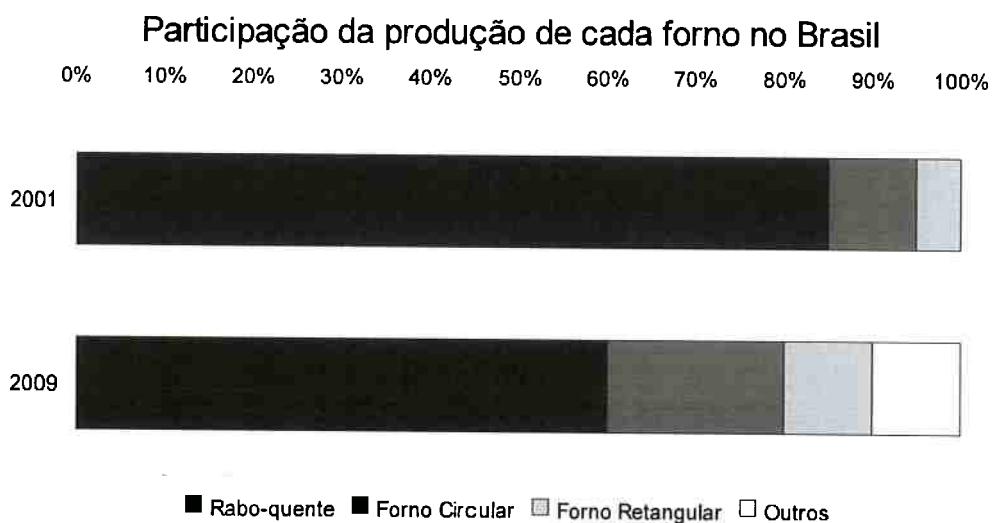


Gráfico 2: Participação de cada forno na produção total brasileira. Adaptado de [2,3].

No Brasil, certas empresas, como a Plantar S.A. e a Biopirol, mantiveram o processo de pirólise sob combustão direta, mas com fornos um pouco mais evoluídos que os rudimentares rabo-quente. Tais fornos são mostrados na Figura 3 a seguir.

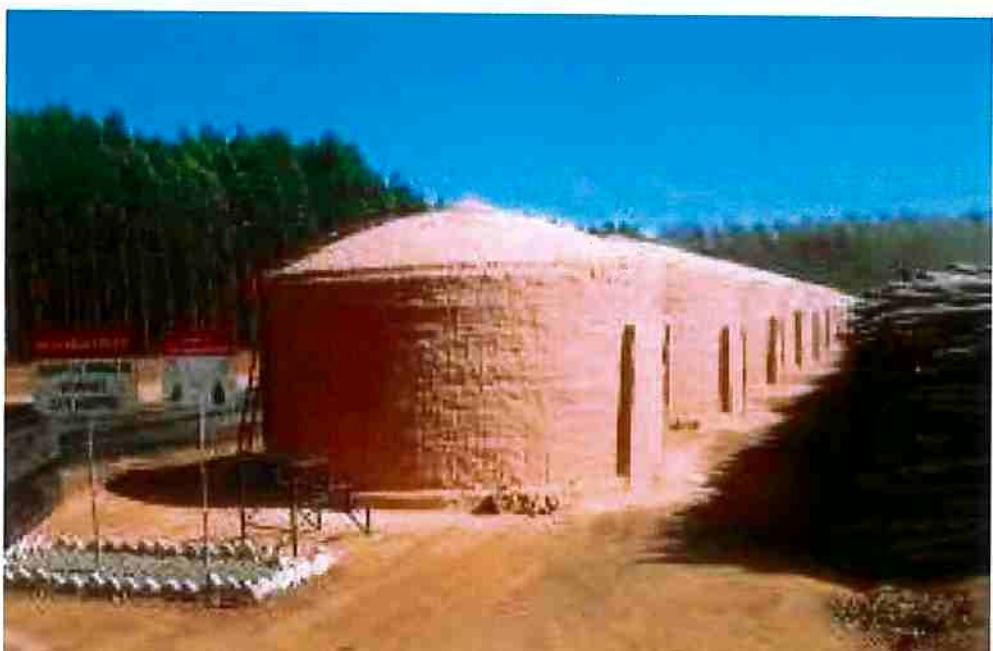


Figura 3: Fornos de alvenaria com melhorias tecnológicas em relação aos fornos Meda. [10].

Ainda que o projeto não se compare aos fornos nos quais durante a pirólise não há contato direto do fogo com a lenha, presentes principalmente em países

desenvolvidos, estes fornos da Plantar são uma resposta ao vazamento de metano pelas paredes dos fornos Meda, assim como aumenta o rendimento gravimétrico do processo para até 34%.

Considera-se o efeito do metano, como será mostrado a seguir, equivalente a vinte vezes o efeito do gás carbônico na atmosfera. Levando este fato em consideração, liberar dióxido de carbono é dezenove vezes menos nocivo que liberar a mesma quantidade de metano, no que diz respeito ao efeito estufa e consequentemente às mudanças climáticas.

Ao evitar a emissão de metano, a unidade de alvenaria modificada, emite menos CO₂ como subproduto do processo de pirólise, preservando a qualidade do trabalho humano e também do ar atmosférico em tais regiões.

Para a validação dos fornos como um projeto de mitigação de emissão de metano de acordo com a UNFCCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima) uma parcela destes faz parte da amostra sujeita a medições muito criteriosas e sofisticadas das emissões.

Entre as formas mais modernas de produção de carvão vegetal encontra-se a carbonização de restolhos sem emissão de gases. [2]

Este processo, desenvolvido pela empresa Bioware, utiliza pequenos fragmentos de madeira, e tem entre as vantagens o aproveitamento da fumaça e a recuperação de produtos líquidos e gasosos.

Além de recuperar subprodutos, a empresa afirma ainda que seu rendimento é maior que o dos fornos convencionais.

Fornos em cabine metálica, em contrapartida à esmagadora maioria de fornos de alvenaria foram a solução encontrada pela empresa Bricarbras.

A tecnologia Bricarbras possui fornos em cabine metálica com capacidade de 11m³ de lenha e tempo de carbonização de 9 horas, um ciclo 75% mais rápido que aquele de 60 horas dos fornos rabo-quente.

Uma inovação tecnológica de grande importância nesta tecnologia está na utilização do secador de madeira. Além disso, seu rendimento gravimétrico está entre 34 e 40%.

Um incinerador de fumaça impede que emissões maiores de gases de efeito estufa sejam emitidas pelo processo. [9]

1.3 Sustentabilidade

"A metalurgia, particularmente a siderurgia, utiliza intensivamente energia gerada a partir de carvões fósseis, causando grande impacto ambiental sobretudo pela geração de CO₂, o principal gás relacionado ao efeito estufa antropogênico. Desenvolvimentos atualmente em curso pretendem diminuir drasticamente este consumo, especialmente na etapa de redução de minério de ferro, empregando tecnologias inovadoras tanto em altos-fornos como em processos emergentes. Outro enfoque é a maior utilização de energia renovável - carvão vegetal. No Brasil, com poucas exceções, o carvão é preparado a partir de mata nativa em fornos de alvenaria com controle artesanal, em um ciclo de carbonização que pode durar vários dias. Este esquema produtivo não apresenta condições de sustentabilidade." [14]

A definição de sustentabilidade formulada pela WCED (*World Commission on Environment and Development* - 1987) coloca como condição para o desenvolvimento sustentável: "*satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras.*" [15]

Essa definição é um tanto quanto vaga, pois em um planeta com recursos finitos, as necessidades das gerações futuras, se utilizarmos como parâmetro as necessidades e tecnologias atuais, estão seriamente comprometidas.

Contudo, no âmbito geral, compromete-se também os recursos teoricamente renováveis; o exemplo maior desse fato é o desmatamento, que ocorreu nos países desenvolvidos quando as legislações ambientais eram mais frouxas ou sequer existiam.

Segundo Vittal, em [2], O Brasil necessita de um imediato e sustentado projeto de florestamento e reflorestamento, caso contrário, a contenção do desmatamento estará fortemente comprometida. Além da extração de madeira em matas nativas, ocorre a redução de biodiversidade, nutrientes do solo, nascente de rios, ninhos de animais e outros fatores de produção ambiental.

Entre grandes previsões catastróficas, discussões políticas e econômicas, o conceito de sustentabilidade ganhou grande aceitação, talvez, exatamente por ter um

significado amplo e um pouco vago, podendo adotar uma variedade de formas dentro das três principais esferas de desenvolvimento. São estas: Social, econômico e ambiental.

Em 1987, no relatório da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento, da ONU, o foco principal do debate estava nos problemas ambientais e questões políticas que os envolviam. Na convenção Rio-1992, a discussão girava mais em torno da biodiversidade e mudanças climáticas. E no World Summit on Sustainable Development a pobreza e sua erradicação estavam no topo das preocupações mundiais. [16]

Uma forma de visualizar uma junção dos fatores do desenvolvimento sustentável é ilustrada na figura 4 a seguir.

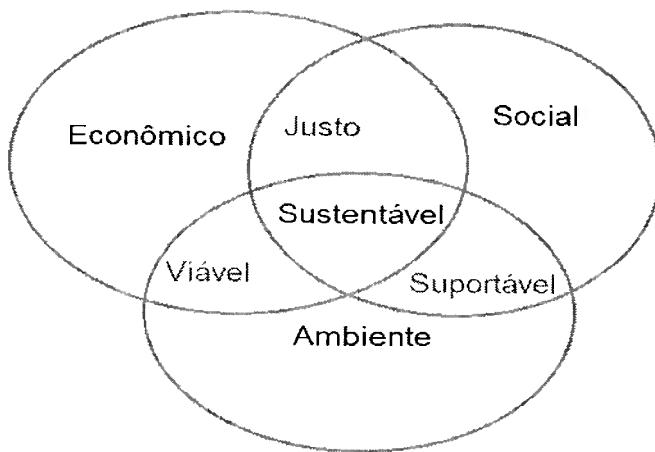


Figura 4: Diagrama ilustrativo de uma das definições de desenvolvimento sustentável [16].

A ideia de que não é possível se desenvolver de forma sustentável sem levar em consideração os três pilares e suas importâncias resulta em limitações ilustradas nas interseções entre apenas dois aspectos.

É com base nessa definição que a abordagem deste trabalho se dá em torno destes três aspectos para o caso do carvão vegetal.

1.4 Importância Econômica

A competitividade do aço brasileiro é dependente de fatores como produção em escala e preço do ferro-gusa. [2]

Os investimentos em parques já existentes na siderurgia brasileira somam US\$ 14 bilhões de 1994 a 2004, e concentraram-se na necessidade de modernização destes, enquanto de 2005 a 2008, US\$ 11 bilhões foram investidos principalmente na expansão de capacidade dos pátios já existentes. Tais números estão ilustrados no gráfico 3. [3]

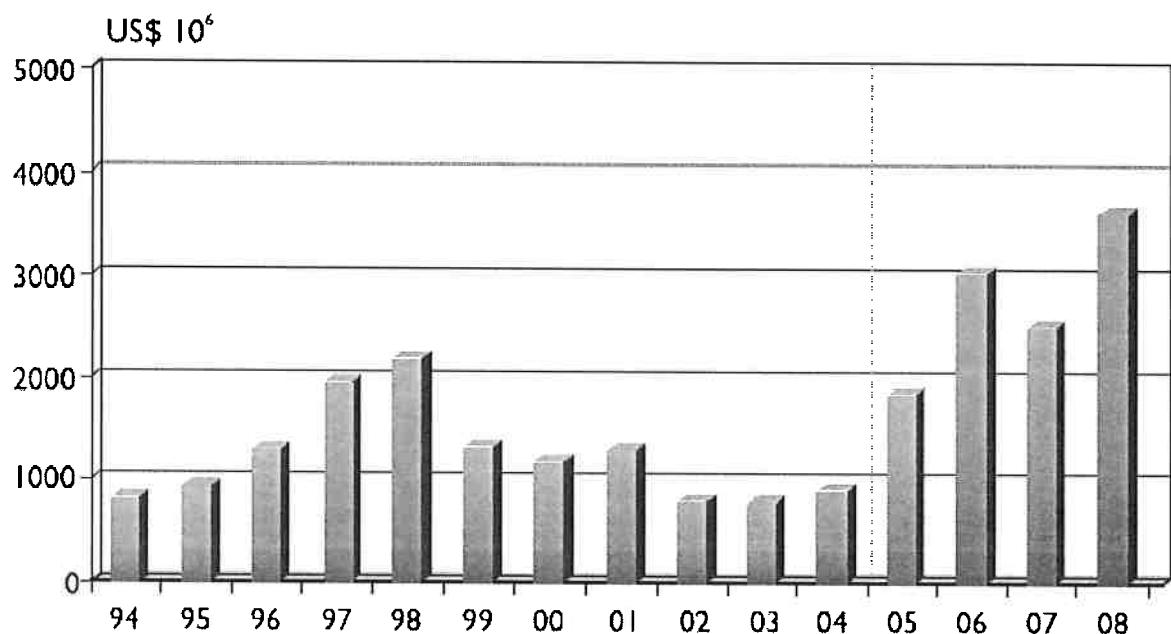


Gráfico 3: Investimento em milhões de dólares nos parques siderúrgicos brasileiros já existentes, de 1994 a 2008. [17]

Levando em consideração o aspecto econômico da sustentabilidade, o custo torna-se um fator muito relevante para o desenvolvimento de alternativas, pois implica na possibilidade de implementação de um dado processo.

O preço do carvão vegetal está intimamente ligado ao preço do ferro-gusa, e corresponde normalmente a 40% do custo deste, que oscila a ponto de paralisar pequenos produtores quando este último cai abaixo de determinados níveis. No gráfico 4, a seguir, é visualmente possível inferir que existe essa relação entre a oscilação do preço do gusa e o preço do carvão vegetal.

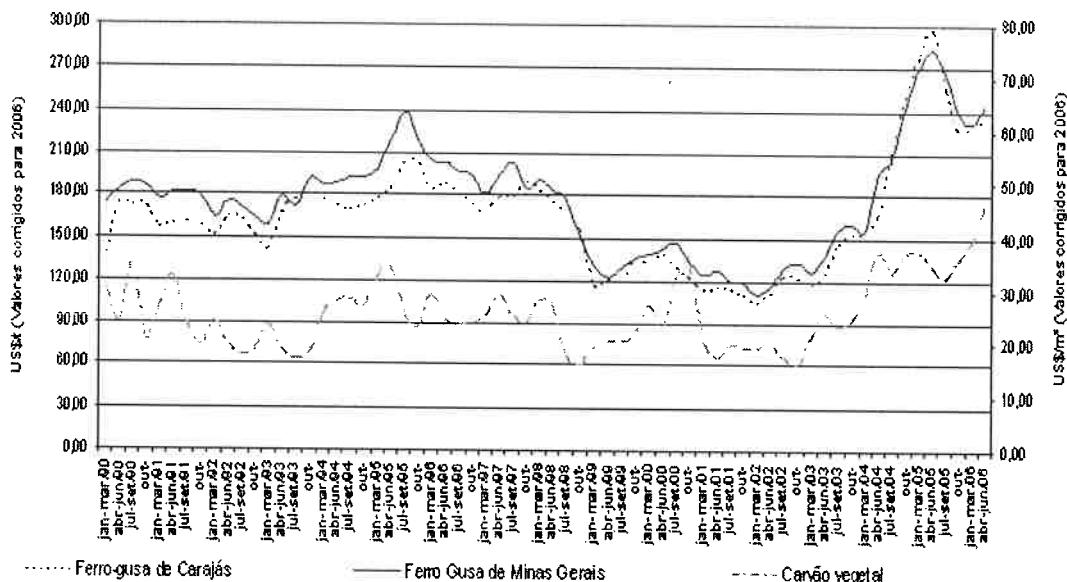


Gráfico 4: Evolução do preço do carvão vegetal e do gusa de duas regiões no Brasil. [18]

A implementação de florestas plantadas com a finalidade de serem utilizadas para carvão vegetal torna-se uma oportunidade de negócio pouco interessante a partir do momento em que é entendida como um investimento alto e em que por alguns anos imobiliza o capital, para ao final, ter um preço e demanda extremamente oscilantes. Outra frente que visa relacionar problemas ambientais com a economia de forma a viabilizar as iniciativas de preservação de florestas, redução de emissões entre outros é a criação dos créditos carbono comercializados entre empresas e países. Os créditos de carbono consistem em uma tentativa internacional de mitigação da emissão de gases efeito estufa.

As empresas, países ou organizações que deixarem de emitir gases de efeito estufa em seus processos, ou capturarem estes da atmosfera podem elaborar um projeto seguindo metodologias de cálculo destas emissões evitadas, por exemplo, e vender esta diferença para aqueles que possuem limites impostos por legislação ou acordos internacionais e que emitem acima deste limite.

No mercado europeu de compra e venda de créditos de carbono, a tonelada de CO₂ negociada em novembro de 2010 valia entre 12 e 14 euros.

Principalmente onde há legislações mais rígidas sobre as emissões de empresas ou países, aqueles que ultrapassam suas cotas podem apelar para a compra de créditos carbono de outros.

Para que se possa vender crédito de carbono, deve-se elaborar um projeto nos moldes dos “mecanismos de desenvolvimento limpo”, do inglês Clean Development Mechanism (CDM) que é um conjunto de metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. A partir da aprovação pela ONU do projeto, a organização que pretende vender créditos carbono pode finalmente negociar o valor para a tonelada de CO₂ que ela captura ou deixa de emitir em seu processo.

Há projetos de comercialização de créditos carbono baseados na utilização de carvão vegetal no lugar do coque, assim como pela modernização dos fornos. Essa modernização se baseia no fato de os fornos Meda deixarem escapar gases de efeito estufa pelas paredes.

Em fornos um pouco mais modernos é possível reduzir drasticamente essa emissão “colateral” com a introdução de um queimador de gases como o metano que é considerado potencialmente mais nocivo que o dióxido de carbono.

Essa medida do quanto nocivo um gás é em relação ao CO₂ é chamada moeda de carbono.

A tabela 3 ilustra em que proporção cada um dos gases é considerado na contribuição para o efeito estufa. Por exemplo, uma tonelada de metano na atmosfera, é, pelo IPCC (Protocolo Internacional de Mudanças Climáticas) de 1996, considerado equivalente a 21 toneladas de dióxido de carbono.

Tabela 3: Moeda de carbono equivalente segundo IPCC de 1996 e IPCC de 2001.

| Gás | 1996 IPCC GEE | 2001 IPCC GEE |
|---------------------------|---------------|---------------|
| Dióxido de Carbono | 1 | 1 |
| Metano | 21 | 23 |
| Óxido Nitroso | 310 | 296 |
| HFC-23 | 11,7 | 12 |
| HFC-125 | 2,8 | 3,4 |
| HFC-134a | 1,3 | 1,3 |
| HFC-143a | 3,8 | 4,3 |
| HFC-152a | 140 | 120 |
| HFC-227ea | 2,9 | 3,5 |
| HFC-236fa | 6,3 | 9,4 |
| Perfluoretano (CF4) | 6,5 | 5,7 |
| Perfluoretano (C2F6) | 9,2 | 11,9 |
| Hexafluorido de Enxofre | 23,9 | 22,2 |

O desenvolvimento e o crescimento da siderurgia a carvão vegetal no Brasil, só foram possíveis por conta da disponibilidade de matas nativas brasileiras. A produção de carvão vegetal é colocada como uma saída menos nociva que o desmatamento por meio de queimadas, isso porque na carbonização aproximadamente um terço da madeira é recuperado em forma de carvão vegetal.

[5]

Utilizar um insumo sem desembolso imediato (florestas tropicais, cerrado e outras madeiras oriundas de matas nativas) acaba por gerar vantagens competitivas consideradas “insustentáveis ou ilusórias” na cadeia produtiva. [2]

1.5 Impactos Ambientais

A atividade de extrativismo mineral é a mais intensiva em capital, e causadora de graves impactos ambientais. É também uma atividade de extrativismo de um recurso não renovável por atividades antrópicas. É consequência quase inevitável destas, causar danos na região em que forem realizadas. No caso da mineração, por exemplo, o consumo de água é significativo, além de criar regiões de exploração a céu aberto com “buracos” e morros de proporções descomunais, normalmente estruturados em forma de degraus. [2]

O carvão vegetal por outro lado, dispensa a mineração como no carvão mineral, e as características mais importantes no âmbito ambiental estão mais relacionadas às emissões de gases de efeito estufa.

As emissões antropogênicas de gases efeito estufa no mundo foram, em 2007, de 29 bilhões de toneladas e estima-se crescimento deste valor para 37 bilhões de toneladas em 2020. [20]

O gás que mais contribui com o aquecimento global é o CO₂ e sua emissão corresponde a 55% do total de emissões de gases de efeito estufa no mundo; seu tempo de permanência na atmosfera varia entre 50 a 200 anos.

De acordo com o IPCC (Protocolo Internacional de Mudanças Climáticas), de 3 a 4% das emissões de gases efeito estufa são responsabilidade da siderurgia no mundo. Em termos estratégicos, é importante para que haja redução de emissões no cômputo geral, que seja dada a devida atenção à essa questão no âmbito da

siderurgia, buscando alternativas e novas tecnologias. [20]

A utilização de carvão vegetal na siderurgia, apesar de todos os problemas encontrados em países pobres e em desenvolvimento, é considerada uma alternativa mais de acordo com o Protocolo de Kyoto, que tem como propósitos aumentar a utilização de fontes renováveis e diminuir a emissão de gases causadores do efeito estufa e contribuir para o abrandamento do mesmo através do sequestro de carbono da atmosfera.

A emissão de gases efeito estufa na produção de ferro gusa a partir da utilização de carvão vegetal é então relativa à proporção de mata nativa e floresta plantada, isto é, de acordo com a matéria prima do carvão vegetal pode-se ou não considerar as emissões de CO₂ aquelas calculadas para o caso ideal e sustentável.

A indústria independente de ferro-gusa à base de carvão vegetal no Brasil é considerada um importante vetor de desmatamento de matas nativas da Amazônia, Mata Atlântica e Cerrado, sendo este último detentor de 5% da biodiversidade do planeta e uma questão que tomou proporções mundiais a ponto de o país se comprometer na Conferência de Copenhague em 2009 a atingir a marca de 40% de redução no desmatamento da região do Cerrado.

Os fatores responsáveis por considerar a siderurgia a carvão vegetal como opção sustentável consistem no fato de o eucalipto sequestrar e fixar carbono da atmosfera para a produção de matéria orgânica.

O eucalipto é amplamente utilizado na indústria de celulose e papel, assim como para a produção de carvão vegetal pois tem um crescimento acelerado, atingindo a idade adulta ideal para o corte com apenas 7 anos.

Ou seja, o carvão vegetal proveniente de florestas plantadas, sequestra durante seu crescimento o CO₂ que é mais tarde liberado durante sua combustão.

O conceito de sequestro de carbono foi definido pela Conferência que elaborou o Protocolo de Kyoto em 1997, tem como base a quantidade de carbono fixado pela planta em forma de produtos madeireiros, e considerando a quantidade de CO₂ que é capturado durante a fotossíntese.

A figura a seguir mostra uma floresta plantada de eucalipto, como citado anteriormente. Este demora em torno de 7 anos para atingir o tamanho e desenvolvimento ideal para corte e carbonização.



Figura 5: Floresta plantada de eucalipto [9].

O balanço de emissão de CO₂ da siderurgia a carvão vegetal considera em seus cálculos o sequestro de CO₂ durante o crescimento das espécies vegetais.

O balanço de emissões do carvão vegetal só pode levar em consideração a fixação de carbono durante o crescimento da espécie vegetal se a mesma for oriunda de floresta plantada, pois a produção de carvão vegetal a partir de mata nativa implica na liberação de CO₂ armazenado em forma de floresta. No contexto mundial, o desmatamento emite mais gases de efeito estufa do que os veículos, correspondendo a 15% das emissões mundiais.

Vinte anos depois de Brito em [5] apontar um problema sério na produção do carvão vegetal, o desmatamento do Cerrado e da Amazônia torna-se centro das discussões ambientais mundiais. O Cerrado, como citado anteriormente, é responsável por 5% da biodiversidade do planeta e sua destruição é considerada “beirando o descontrole” segundo o Ministério do Meio Ambiente.

Em 1990, a necessidade da utilização de madeira cultivada em matas reflorestadas, e sua colocação em prática no universo da produção de gusa era considerada tímida, apenas uma iniciativa por parte de algumas poucas empresas, visando não apenas a sustentabilidade do processo, mas principalmente como uma forma de contornar a distância que a matéria-prima ia ganhando dos guseiros consumidores de carvão vegetal.

Essa distância se dava pelo fato de, aos poucos, a mata nativa mais próxima da produção de gusa se tornar mais escassa. Podia-se então destacar a pecuária, e o desmatamento como empecilho para a logística na utilização de carvão vegetal de mata nativa, e esse mesmo desmatamento seria então o propulsor inicial do cultivo de florestas plantadas para a produção de carvão vegetal.

1.6 Impactos Sociais

Já se passou uma década do século XXI, mas o carvão vegetal ainda é produzido de forma rudimentar, semelhante àquela utilizada em meados do século XIX, quando se deu início à sua produção comercial no estado de Minas Gerais, e ainda hoje essa produção tradicional do carvão vegetal é considerada arcaica do ponto de vista social, onde os trabalhadores estão sujeitos, em muitos casos, ao trabalho sem registro de carteira, sem direito aos benefícios legais, além das condições insalubres e da presença preocupante de mão de obra infantil. [4]

A realidade da mão de obra infantil, é bastante documentada na produção de carvão vegetal no Brasil, e há iniciativas para que ele seja erradicado em poucos anos do território nacional. O Brasil é signatário da Convenção 138, que dispõe sobre a idade mínima para admissão ao emprego, e da Convenção 182, que versa sobre as piores formas de trabalho infantil, da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

A Convenção 138 determina que todo país-membro deve seguir uma política nacional que assegure a abolição efetiva do trabalho de crianças. Já a Convenção 182 determina que todo país-membro deverá elaborar e desenvolver programas de ação para eliminar, com prioridade, as piores formas de trabalho infantil.

A utilização de mão-de-obra infantil leva ao afastamento prematuro destas crianças de suas atividades escolares, que têm seus estudos básicos comprometidos ou freados completamente.

Esse quadro pode criar um círculo vicioso de marginalização de uma parcela mais pobre da sociedade no ambiente rural, que sem acesso ao ensino básico fica sempre sujeita a maiores explorações. [2]

O trabalhador infantil é duplamente explorado, à medida em que é explorado por trabalhar em condições deploráveis e tem seu futuro colocado em risco no momento

em que deixa a escola, pois é quando suas oportunidades de acesso se tornam ainda mais estreitas.

As condições dos trabalhadores na produção do carvão vegetal devem ser consideradas de relevância extrema ao se discutir sustentabilidade de um processo ou produto.

Condições precárias de trabalho, que comprometem a saúde do trabalhador, utilize trabalho infantil, não tenha trabalhadores devidamente registrados e em situação que se enquadre dentro da legalidade e dos direitos, são insustentáveis pois causam em esfera nacional a propagação de problemas que dentro do círculo vicioso tornam-se de difícil resolução em um país com dimensões continentais. [21]

A partir do exposto anteriormente, propõe-se o desenvolvimento de um trabalho cujos objetivos são apresentados a seguir.

2 OBJETIVO

Este trabalho visa discutir a sustentabilidade do emprego carvão vegetal na siderurgia levando em consideração um panorama da situação nacional de produção do termo redutor.

O estudo realizado terá como enfoque nas premissas básicas do desenvolvimento sustentável, utilizando a emissão de CO₂ e indicadores de sustentabilidade para a siderurgia a carvão vegetal com o objetivo de definir referenciais procurados para a produção brasileira.

A discussão será feita com base em índices existentes, adaptados e propostos assim como pelo estudo das variáveis referentes à sustentabilidade. Espera-se indicar valores de referência para estes índices de forma que seja possível medir a distância dos valores ideais para cada um deles.

A tentativa de cobrir os três aspectos considerados base do desenvolvimento sustentável fará com que a sustentabilidade seja discutida em termos econômicos, ambientais e sociais.

Dentro destes aspectos, discutiu-se os indicadores para o caso do carvão vegetal discriminando-o na origem da lenha para o carvão vegetal em mata nativa e floresta plantada, e a sustentabilidade de cada um desses casos foi tratada de forma separada.

3 METODOLOGIA

3.1 Aspectos Estudados

Para realizar a pesquisa serão utilizados bancos de dados nacionais da AMS (Associação Mineira de Silvicultura), ICC (Instituto Carvão Cidadão) com maior atenção às regiões com maior produção de ferro-gusa com utilização de carvão vegetal como combustível e agente redutor.

Os dados utilizados no estudo serão limitados a uma parte da literatura disponível. Há muita informação sobre carvão vegetal no que tange questões do trabalhador, dos processos, das tecnologias existentes e do custo de implementação e manutenção de florestas plantadas. Há ainda iniciativas de projetos de venda de crédito carbono que podem ilustrar a discussão ambiental.

Nos cálculos de emissão de CO₂ serão utilizados dados da origem da madeira utilizada para produção de carvão vegetal.

Pretende-se analisar e discutir balanços de emissão de gases efeito estufa relativos à utilização de carvão vegetal na siderurgia. Utilizando balanços relativos à utilização de matéria prima originária de mata nativa e floresta plantada pretende-se elaborar um balanço total com parcelas que levem em consideração a emissão relativa às fontes de madeira na matéria prima do carvão.

Como forma de embasar a discussão acerca da sustentabilidade do uso de carvão vegetal na siderurgia, propõe-se a definição de índices quantitativos que representem os aspectos que se quer analisar.

Por fim, pretende-se propor um modelo para o cálculo real de emissão de CO₂ que contemple a diferença de matéria prima e que seja proporcional a ela.

3.2 Índices

Nesta seção serão propostos índices quantitativos para discutir a sustentabilidade do carvão vegetal utilizado na siderurgia.

3.2.1 Aspectos e índices econômicos

Os aspectos de importância econômica são aqui tratados do ponto de vista do custo do ferro-gusa, do custo do carvão vegetal e como estes se relacionam entre si.

Abordou-se também a relação destes custos com a origem da matéria-prima para a produção de carvão vegetal.

3.2.2 Aspectos e índices de impacto ambiental

(a) Parcada de floresta plantada sobre ao total:

Neste item procurou-se traçar um perfil da produção de carvão vegetal no Brasil.

O que se calcula nele é a quantidade em toneladas de carvão vegetal proveniente de floresta plantada dividido pelo total de carvão vegetal produzido no país.

A equação 2 a seguir explicita o cálculo do indicador. Os dados utilizados para a discussão deste índice foram obtidos na Associação Mineira de Silvicultura, e correspondem a dados de origem do carvão vegetal de 1978 a 2008.

$$i_{FP} = \frac{\text{Volume de carvão vegetal oriundo de floresta plantada}(t)}{\text{Volume total de carvão vegetal}(t)}$$

Equação 2: Fração de carvão oriundo de florestas plantadas sobre o total de carvão produzido.

O valor de referência ideal para este índice é 1, que significaria que a totalidade de carvão vegetal produzido no Brasil provém de floresta plantada.

(b) Rendimento gravimétrico do carvão vegetal:

O rendimento gravimétrico dos processos de carbonização é um parâmetro para que se discuta e compare a eficácia tanto de tecnologias diferentes quanto da utilização de espécies diferentes. Neste indicador, o objetivo foi levantar em porcentagem, qual o rendimento da pirólise de 100 kg de madeira.

$$i_{RP} = \frac{\text{Massa de carvão vegetal (kg)}}{100 \text{ kg de madeira}} \times 100$$

Equação 3: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem.

Os valores deste índice costumam variar de 20 a 40%, procurou-se discutir e propor uma normalização deste indicador para melhor visualização da diferença entre valores que parecem muito próximos na escala de 0 a 100%.

A normalização proposta neste trabalho se encontra na equação 3 abaixo:

$$i_{RP} = \frac{\left(\frac{\text{Massa de carvão vegetal (kg)}}{100 \text{ kg de madeira}} \times 100 \right) - 15}{25}$$

Equação 4: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem.

O que se fez nessa normalização foi dispersar mais os valores entre 15 e 40%, adotados como mínimo e máximo de rendimento gravimétrico.

Nesta nova escala, os indicadores para um rendimento de 15% é igual a 0 e um rendimento de 40% toma para si o valor de 1.

(c) **CO₂ absorvido por hectare de floresta:**

Com a realização da fotossíntese, as plantas capturam CO₂ da atmosfera.

Pretendeu-se com esse indicador, mostrar o quanto de carbono deixa de ser fixado por cada hectare de mata nativa desmatada.

No balanço geral de emissões de CO₂ deve-se levar em consideração o quanto ao ano a região que sofre desmatamento deixa de absorver e portanto deixa de contribuir positivamente para a mitigação da emissão dos gases de efeito estufa.

A equação 4 a seguir explicita os cálculos realizados.

$$V_{\frac{CO_2,absorv}{ano}} = \frac{Volume\ de\ CO_2\ absorvido\ por\ ano\ (t)}{hectare\ de\ mata\ nativa}$$

Equação 5: Volume de CO₂ capturado por hectare de mata nativa por ano.

(d) **CO₂ emitido durante a produção do carvão vegetal:**

A emissão de gases de efeito estufa na produção do carvão vegetal é neste trabalho abordada citando um projeto de mitigação de emissões da Plantar Siderúrgica que utiliza uma versão modernizada dos fornos rabo-quente. Esta modernização permite que haja controle da emissão de gases e reduz drasticamente a emissão de metano (CH₄) no processo.

3.2.3 **Aspectos e índices de impacto social**

A escolha dos índices sociais deve levar em consideração a relevância das questões que se deseja levantar.

A escolha de indicadores de sustentabilidade para o caso da siderurgia italiana foi feita de acordo com a situação levantada por Arena em [22], a autora compilou indicadores vários da literatura e descarta índices relativos ao registro do

trabalhador, trabalho análogo ao escravo e trabalho infantil. Essa escolha só é possível porque na Itália, em tese, não é possível diferenciar as siderúrgicas entre si. Para a escolha de indicadores, foram utilizados os dados do Instituto Carvão Cidadão. Este instituto possui 11 empresas a ele associadas que têm como compromisso manter uma série de indicadores sociais em valores ideais, sendo estas empresas auditadas periodicamente para checar se o selo de carvão cidadão lhes é conferido.

Os indicadores escolhidos foram a presença de caderneta de dívidas, parcela de trabalhadores com carteira assinada e a presença de trabalho infantil.

Alguns dos indicadores das condições dos trabalhadores foram aqui desenvolvidos e discutidos, pois apesar de serem empresas ligadas ao ICC, ao menos as primeiras auditorias captaram um perfil com valores diferentes ou bastante diferentes do ideal. Os índices de condições sociais visam colocar em valores entre 0 e 1 questões de cunho social como emprego de trabalho infantil, número de empregados registrados e presença de trabalho análogo ao escravo.

(e) Número de trabalhadores com carteira assinada:

Pretende-se levantar a proporção de trabalhadores com carteira assinada nas carvoarias das empresas ligadas ao ICC. Valor esperado seria 1, caso onde todos os trabalhadores envolvidos na produção de carvão vegetal são registrados e têm seus direitos trabalhistas assegurados.

(f) Presença de mão de obra infantil:

A presença em mão de obra infantil é aqui analisada como valor binário, ou seja, há apenas duas possibilidades para este indicador, são elas: existe presença de mão de obra infantil ou não há, o valor ideal que se pretende e que deveria ser buscado constantemente é 0. Aqui também serão utilizados dados do ICC para a discussão do índice.

(g) Existência de caderneta de dívidas:

A caderneta de dívidas é uma forma, presente ainda hoje no meio rural, de impor aos trabalhadores um regime análogo ao de escravidão. Os gastos básicos dos trabalhadores são muitas vezes maiores que o salário recebido, dessa forma, o empregado fica sempre em dívida com o empregador.

O que se pretende avaliar com este indicador é a presença desta situação.

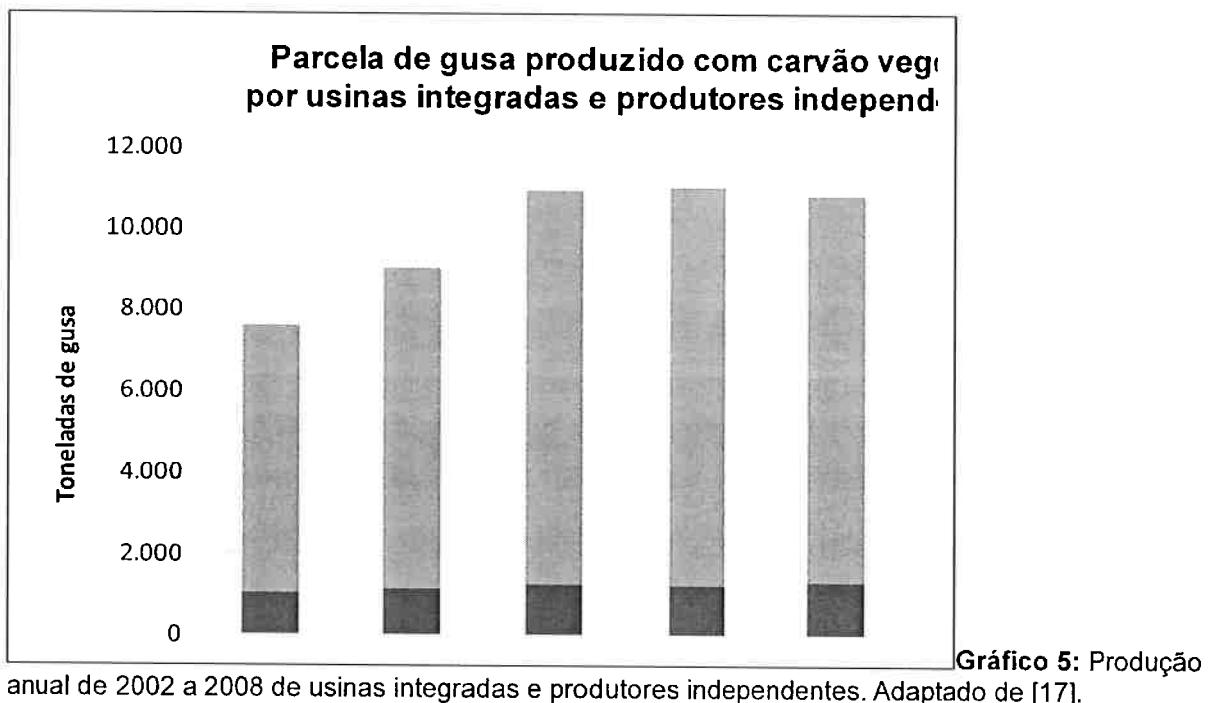
Para este indicador, o valor ideal de referência também é 0.

4 RESULTADOS

4.1 Aspectos e índices econômicos

Os produtores independentes, como ilustrado no gráfico 5 a seguir, consistem na maior parte de produtores de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil. Sendo estes, altamente dependentes do preço do ferro-gusa no mercado interno e externo.

Em quedas mais pronunciadas do preço do gusa, estes produtores são os primeiros a parar a produção.



A partir do gráfico 5 é possível perceber que a quantidade de gusa produzido por produtores independentes consiste na maior parte do gusa.

Conclui-se que a produção de gusa a carvão vegetal no Brasil é pulverizada e para

atendê-la, a produção de carvão vegetal deve ser igualmente pulverizada. O custo do carvão vegetal é então de grande importância para o custo do gusa, o custo do carvão vegetal, por sua vez, consiste em mão de obra, matéria-prima, encargos financeiros e outros. O que se tem no gráfico 6 a seguir é uma realidade muito diferente para a produção extrativista e a produção de carvão vegetal com base em florestas plantadas.

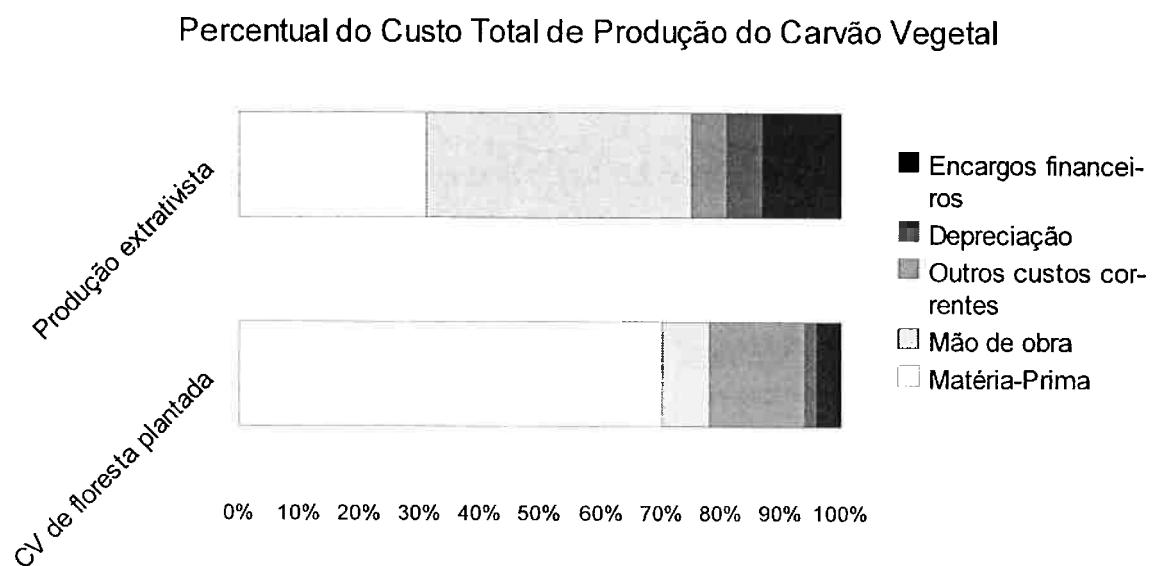


Gráfico 6: Comparativo entre participação dos diferentes custos na produção do carvão vegetal oriundo de extrativismo e produzido a partir de florestas plantadas. Elaborado a partir de [2]

A matéria-prima no caso extrativista corresponde a pouco mais de 30% do custo, enquanto no caso de florestas plantadas, o custo de matéria-prima é de 70%.

A diferença latente de participação deste item no custo vem do fato de o extrativismo criar a visão ilusória de que se produz o carvão sem pagar pela madeira em si. Ilusória, pois tal situação não é capaz de se manter dessa forma. À medida que o entorno da produção vai sendo desmatado e devastado, aumenta-se a distância dos fornos e da matéria-prima.

Pode-se deslocar a produção para mais perto da fonte de madeira, os fornos de alvenaria são desmontados e montados em outras regiões sem grandes custos. Contudo, à medida que a produção de carvão vegetal se locomove em busca de mais mata nativa para cortar, o que se obtém é uma distância maior dos produtores de gusa, esse é um dos pontos que faz com que se possa considerar ilusória a ideia

de que a mata nativa é um insumo gratuito, pois as regiões mais próximas de floresta vão se distanciando. Apenas pensando por esse lado, chegará o momento em que o carvão vegetal oriundo de mata nativa terá um custo maior em frete do que aquele relativo à matéria-prima de floresta plantada.

Outro fato interessante a ser destacado no gráfico 6 é a diferença da participação da mão de obra no custo final do carvão vegetal.

Na usina integrada, a mecanização do processo é a provável razão de o custo de mão de obra corresponder a menos de 10% do custo final do carvão vegetal, enquanto que no carvão vegetal produzido a partir do extrativismo, o custo de mão de obra é maior que 30%.

Tais diferenças de participação de cada variável no custo final do carvão mostram como se trata de processos de produção muito díspares.

4.2 Aspectos e índices ambientais

i. Parcada de floresta plantada sobre total:

A parcela correspondente à produção de carvão vegetal na demanda de madeira de floresta plantada no Brasil é em torno de 13%, estando atrás de celulose e papel, madeireiras, e lenha propriamente dita. [2]

Em 1990, 78% da matéria-prima utilizada para a produção de carvão vegetal era originária de mata nativa, atualmente, esse número caiu para aproximadamente 50% como mostrado no gráfico 7 a seguir.

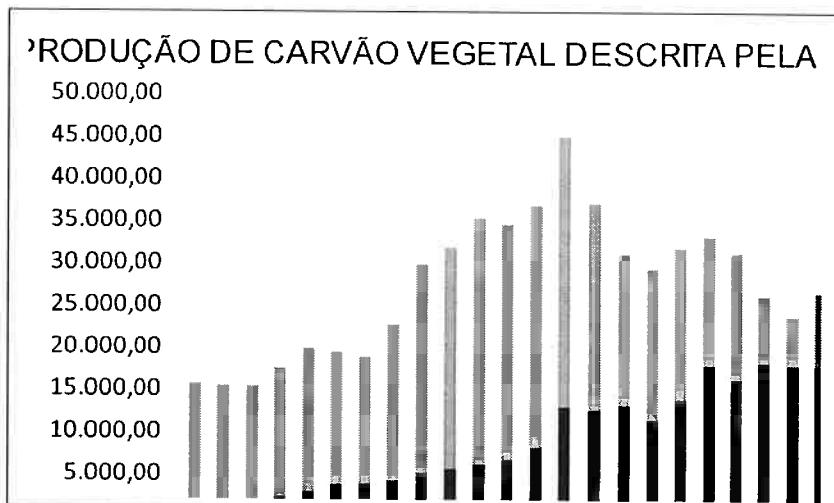


Gráfico 7: Origem do carvão vegetal produzido no Brasil de 1976 a 2008. Adaptado de [11]

O gráfico 7 apresenta de meados dos anos 1970 até o final dos anos 1980 um crescimento na produção de carvão vegetal e tímida parcela deste montante relativa à floresta plantada.

Por volta de 1989 a parcela de carvão vegetal originário de floresta plantada passa a crescer até o final dos anos 90, e durante a década de 90 a produção total de carvão vegetal decresce ou mantém-se praticamente a mesma.

No início do século XXI, por sua vez, o crescimento do país é retomado, e juntamente com ele temos o crescimento da produção de carvão vegetal, contudo, a parcela referente à produção com matéria prima proveniente de florestas plantadas mantém-se, e o que temos é o crescimento da produção de carvão vegetal às custas da mata nativa brasileira.

Ressaltando-se o fato de que cerca de 90% do carvão vegetal é utilizado para a produção de ferro gusa, o que se conclui é que dez a vinte anos após Brito, em [2], apontar relação entre a produção de carvão vegetal e o desmatamento, a siderurgia a carvão vegetal continua crescendo às custas da mata nativa.

Os dados utilizados para o cálculo deste são aqueles divulgados pela AMS (Associação Mineira de Silvicultura). A partir deles o cálculo da Equação 2, apresentada na Metodologia, assume no ano de 2008, o valor de 0,53.

É possível, a partir da série de dados históricos, observar que em meados dos anos 90 foi quando obteve-se o melhor resultado para esta proporção, o índice chegou em 1997 a ser 0,7.

O gráfico abaixo mostra a evolução deste índice de 1976 a 2008.

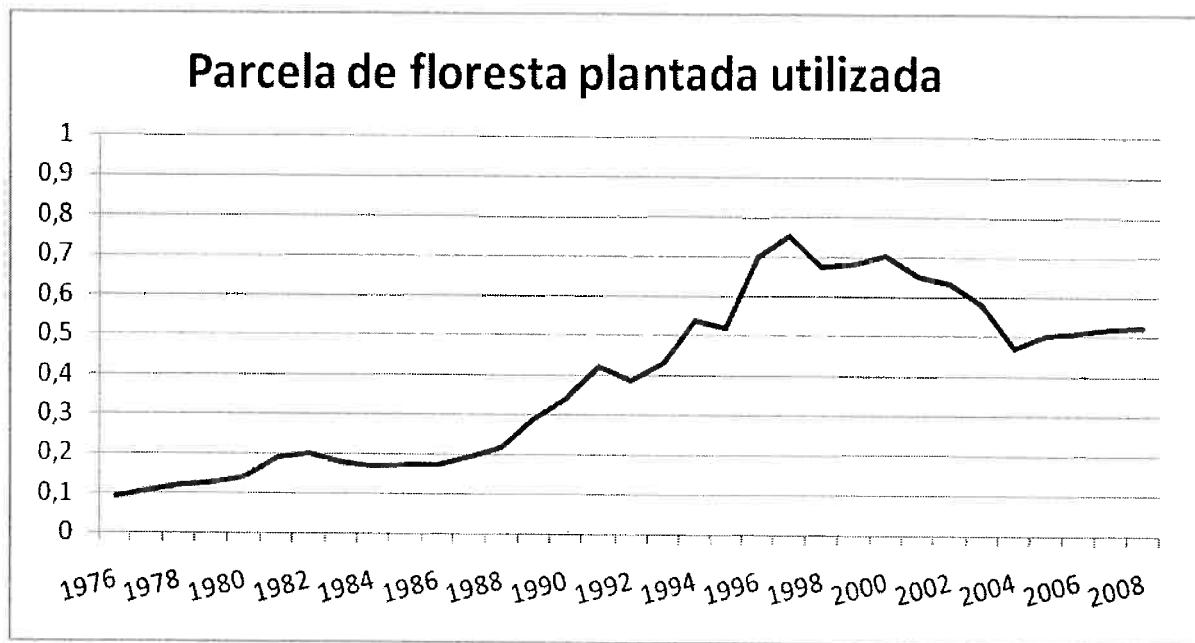


Gráfico 8: Parcela de floresta plantada utilizada na produção total de carvão vegetal no Brasil.
Adaptado de [11]

Os dados históricos de produção de carvão vegetal foram tratados de forma a obter uma série que fosse definida como o fator de crescimento da produção no tempo com referência ao primeiro valor obtido.

Analizando o crescimento da produção de carvão vegetal em conjunto com o fator referente à parcela de floresta plantada o que se percebe é um crescimento mais acelerado na produção de carvão vegetal nos anos 1980 e 1990, mas apenas a partir de 1990 a participação de carvão oriundo de florestas plantadas passa a crescer.

Parcela de floresta plantada e crescimento da participação do carvão vegetal com base no ano de 1976.

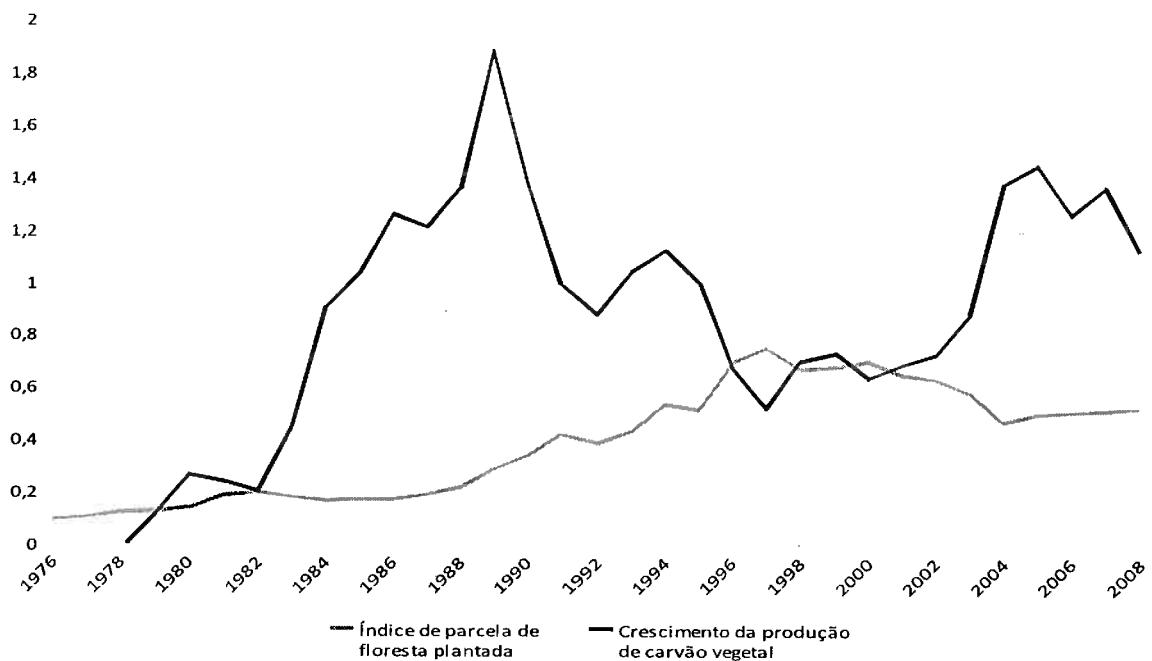


Gráfico 9: Parcela de carvão proveniente de florestas plantadas sobre total de carvão produzido e crescimento com referência no valor de 1976 para a produção de carvão vegetal no Brasil. Adaptado de [11].

O valor mais alto do índice parcela de floresta plantada tem seu pico máximo em um momento de queda da produção de carvão total. Provavelmente isso indica que em meados dos anos 1990, enquanto a produção de carvão vegetal a partir de florestas plantadas permaneceu constante em números absolutos, ocorreu uma queda do total de carvão vegetal produzido, ocorrendo uma queda na produção de carvão a partir do desmatamento de florestas nativas. Mas a partir do momento em que a produção de carvão vegetal volta a crescer, a parcela relativa ao carvão originário de florestas plantadas cai, mostrando que o crescimento de florestas plantadas não se dá na mesma taxa de crescimento da produção total de carvão vegetal, sendo este déficit resolvido com uma quantidade equivalente a 50% da produção a partir de mata nativa.

No que diz respeito ao valor de rendimento de pirólise, aparentemente encontramos um valor de 284 kg de carvão vegetal por tonelada de madeira oriunda de florestas plantadas. Este valor não difere muito do valor teórico de rendimento dos fornos mais rudimentares (Meda). Contudo, este resultado foi obtido a partir da hipótese de

que um hectare de terra é capaz de produzir 15 toneladas de madeira e que em 2008 havia 1,7 milhões de hectares destinados ao cultivo de florestas plantadas para produção de carvão vegetal para uso siderúrgico.

ii. **Rendimento gravimétrico do carvão vegetal:**

O rendimento gravimétrico indica quantos quilogramas de carvão vegetal são obtidos a partir da carbonização de 100 kg de madeira.

Esses valores estão intimamente relacionados à composição da biomassa que é essencialmente uma combinação de lignina, hemicelulose e celulose.

Os rendimentos gravimétricos, portanto, variam de acordo com o tipo de madeira utilizada. Outro ponto importante para a medição do rendimento é a base que se utiliza, isto é, a utilização de base seca resulta em valores muito diferentes daqueles obtidos em base úmida.

Como observado anteriormente, os rendimentos gravimétricos variam, na literatura entre 20 e próximo de 40%, havendo muitos em torno de 25%. Propõe-se neste trabalho uma normalização para mudar a escala do índice.

$$i_{RP} = \frac{\left(\frac{\text{Massa de carvão vegetal (kg)}}{100 \text{ kg de madeira}} \times 100 \right) - 15}{25}$$

Equação 6: Rendimento gravimétrico da pirólise da madeira, expresso em porcentagem.

Propõe-se uma normalização dos valores de rendimento gravimétrico, concentrando-se na faixa entre 15 e 40%, onde 15% é zero e 40% é 1.

Na tabela 4, a seguir, há dados obtidos na literatura dos rendimentos gravimétricos de espécies da Amazônia, do Cerrado e do eucalipto *Eucalyptus grandis*:

Tabela 4: Rendimentos gravimétricos de espécies encontradas na literatura e o indicador normalizado de rendimento gravimétrico para cada uma das espécies. Adaptado de [23, 24].

| Espécie | Origem | Rendimento gravimétrico | Indicador de Rendimento Gravimétrico |
|------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Maçaranduba | Amazônia | 25,68% | 0,43 |
| Sapucaia | Amazônia | 21,59% | 0,26 |
| Timborana | Amazônia | 29,55% | 0,58 |
| <i>Pterodon pubescens</i> | Cerrado | 33,55% | 0,74 |
| <i>Dalbergia micolobium</i> | Cerrado | 35,49% | 0,82 |
| <i>Sclerolobium paniculatum</i> | Cerrado | 36,80% | 0,87 |
| <i>Stryphnodendron adstringens</i> | Cerrado | 39,42% | 0,98 |
| <i>Qualea grandiflora</i> | Cerrado | 38,76% | 0,95 |
| <i>Hymenaea stignocarpa</i> | Cerrado | 37,33% | 0,89 |
| <i>Blepharocalyx salicifolia</i> | Cerrado | 37,17% | 0,89 |
| <i>Pouteria ramiflora</i> | Cerrado | 34,29% | 0,77 |
| <i>Caryocar brasiliens</i> | Cerrado | 32,47% | 0,70 |
| <i>Schefflera macrocarpa</i> | Cerrado | 32,24% | 0,69 |
| <i>Strychnos pseudoquina</i> | Cerrado | 31,72% | 0,67 |
| <i>Eucaliptus grandis</i> | Floresta Plantada | 33,21% | 0,73 |

Mesmo com o cálculo do indicador, seria necessário aplicar um teste de comparação de médias, caso fosse desejado aferir ao nível de determinada significância se o rendimento gravimétrico entre espécies diferem entre si.

Um possível tema para trabalho futuro seria identificar qual o mínimo de diferença entre os indicadores em que para uma significância de 5% sejam consideradas médias diferentes, tal trabalho precisaria contar com uma base matemática e estatística mais profunda do que a que o indicador foi tratado aqui.

iii. CO₂ absorvido por hectare de floresta:

Em 2008, o setor siderúrgico dispunha de 1,7 milhões de hectares de florestas plantadas.

Um projeto da empresa Plantar Siderúrgica, aprovado pelo CCNUCC, envolve a absorção de CO₂ de uma plantação de eucalipto destinado à produção de carvão vegetal e uma área florestada e reflorestada destinada à preservação do Cerrado.

A área conservada pela empresa Plantar, corresponde a um terço da área total do projeto, sendo esta última igual a 2.762,47 hectares. Dois terços dessa área, 1.770,92 hectares é destinado ao cultivo de eucalipto. O projeto aprovado na ONU discorre sobre como essa área de preservação, reflorestamento e a área de cultivo de eucalipto absorvem gases de efeito estufa (GEE) que caso o projeto não fosse realizado, não seriam absorvidos.

Baseado neste critério, a Plantar realizou um estudo para prever a quantidade de CO₂ capturada durante o período de 30 anos. Um gráfico com a absorção líquida de gases de efeito estufa de origem antropogênica é colocado a seguir.

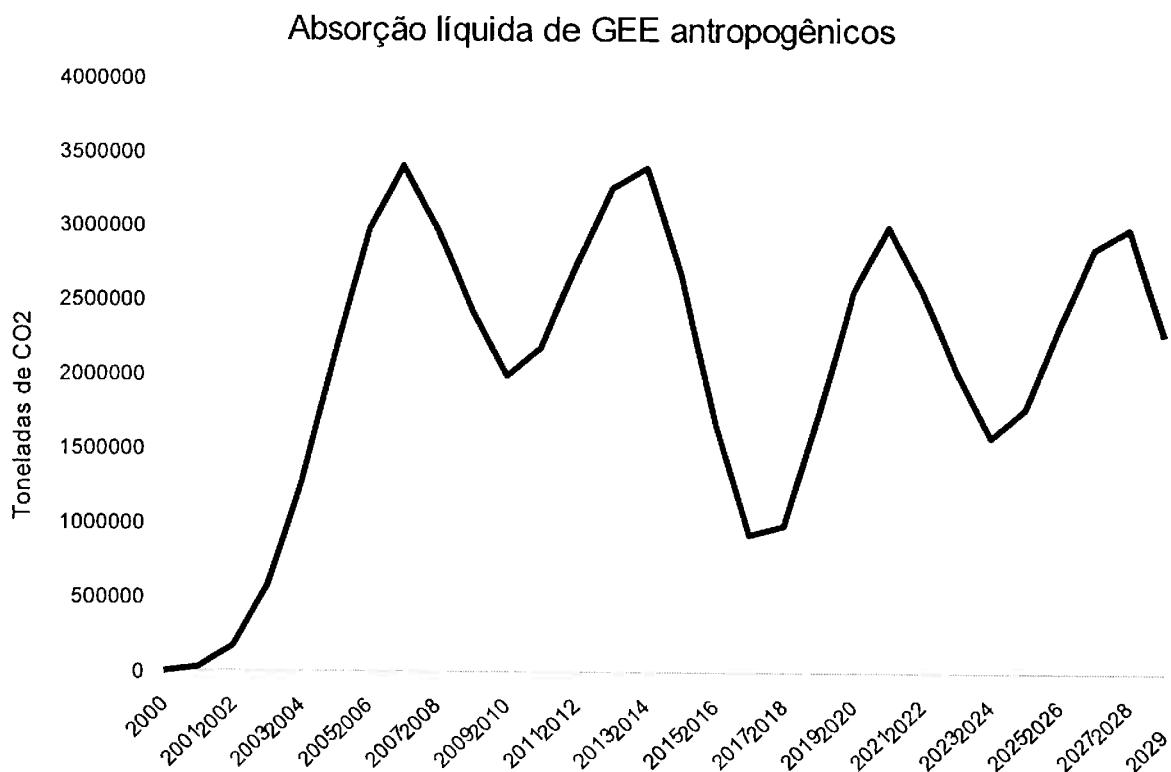


Gráfico 10: Absorção de gases de efeito estufa por 2.762 hectares de floresta plantada de eucalipto e áreas de reflorestamento e florestamento para a preservação do Cerrado. Adaptado de [25]

Nota-se que há picos a cada 7 anos, esses picos provavelmente correspondem à vida do eucalipto de floresta plantada destinado à produção de carvão vegetal.

Levando esses dados em consideração, pode-se estimar o fator de absorção de CO₂ por hectare durante esse ciclo de 30 anos, para melhor visualização este índice é apresentado de forma visual no gráfico 11.

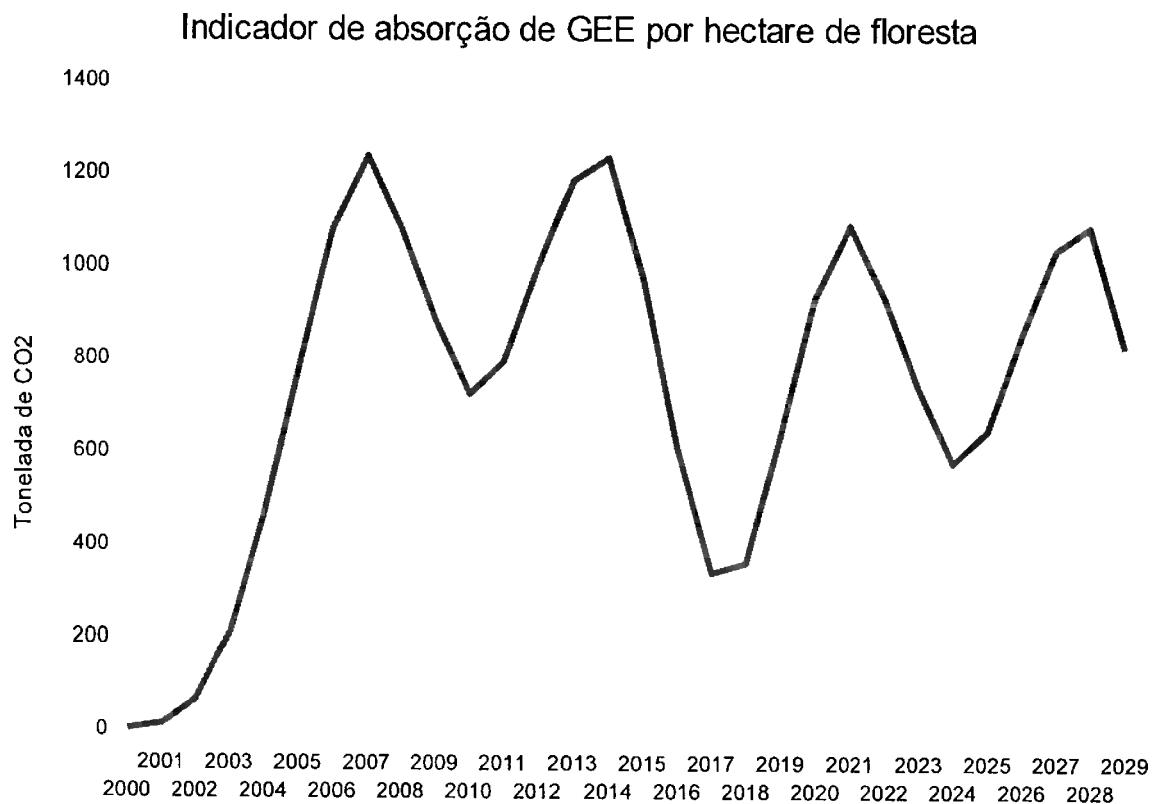


Gráfico 11: Índice de GEE absorvido por hectare de floresta. Adaptado de [25]

Naturalmente, o gráfico que representa a evolução do índice proposto tem o mesmo “formato” que aquele referente à absorção líquida de CO₂ durante o ciclo de 30 anos, ele nada mais é do que uma parametrização do mesmo.

No entanto, no gráfico 11 é possível notar como o hectare de uma floresta composta em 2 terços de floresta plantada e 1 terço de reflorestamento de mata nativa varia a cada ciclo do eucalipto.

Para pesquisa posterior, propõe-se o aprofundamento nesse índice, separando-o em dois índices, um referente apenas à mata nativa e outro para a floresta plantada de eucalipto para analisar melhor os ciclos de ambas desmembrando-os.

iv. **CO₂ emitido na produção do carvão vegetal:**

O caso da Plantar Siderúrgica tem uma experiência concreta na área de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, e negocia créditos carbono com seus projetos.

No relatório do projeto registrado como AM0041 de modernização de fornos, considera-se a emissão de CO₂ do processo como neutra, utilizando como justificativa o fato de ser uma emissão de madeira renovável. O que se discute neste caso é a emissão de CH₄, metano, que em moeda de carbono é considerado cerca de vinte vezes mais nocivo que o CO₂ propriamente dito. [10]

Na utilização dos fornos rabo-quente, os gases liberados no processo, não são reaproveitados (CO₂, H₂O, CH₄, entre outros).

O trabalhador fica sujeito ao contato direto com estes gases emitidos, que em comparação a outros processos são liberados em maior quantidade.

Com a modernização destes fornos, a Plantar Siderúrgica em um de seus projetos de mitigação de gases, localizado no estado de Minas Gerais, foi capaz de calcular uma redução nas emissões de CO₂ que cresce de em torno de 7 mil toneladas de CO₂ até, após 21 anos, passar à redução de 36 mil toneladas/ano de CO₂.

4.3 Aspectos e índices sociais

v. **Número de trabalhadores com carteira assinada:**

O registro do trabalhador é a garantia dos direitos do trabalhador.

Mesmo nas empresas associadas ao ICC, percebe-se que o índice que mostra a fração de trabalhadores sem registro oscila bastante e chega ao número de aproximadamente 0,5, como se pode ver no gráfico 12, mesmo depois de cinco anos de acompanhamento da organização e realização de auditorias.

Proporção de trabalhadores sem registro

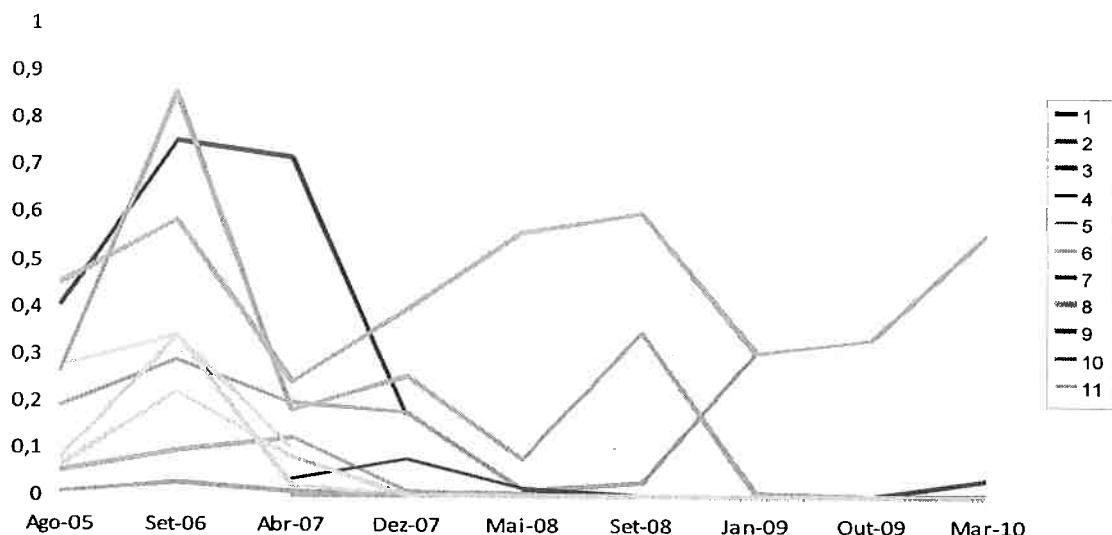


Gráfico 12: Fração de trabalhadores sem registro nas 11 empresas (numeradas de 1 a 11 na legenda) associadas ao ICC (Instituto Carvão Cidadão). Adaptado de [26].

A situação de trabalho sem carteira assinada, expõe os trabalhadores a um cenário sem direitos básicos tornando seus empregos um tanto quanto vulneráveis e consequentemente suas fontes de sustento.

vi. Presença de mão de obra infantil:

A presença de mão de obra infantil por sua vez, existia em quase todas as empresas associadas ao Instituto Carvão Cidadão nas primeiras auditorias, e mesmo que porcentualmente esse número fosse na maior parte, equivalente a menos de 5% dos trabalhadores em 2004 a existência de tal forma de trabalho consiste na exploração da criança e possivelmente um comprometimento de seu futuro, pois é na maior parte dos casos impedida de estudar e criar outras oportunidades para si.

Após uma ou duas auditorias, esse número caiu para zero.

Um indicador proporcional neste caso pode no máximo mostrar a evolução da questão, uma vez que qualquer valor diferente de zero é considerado inaceitável. Deve-se então fazer uma abordagem binária do indicador. A mesma situação é verificada no indicador a seguir.

vii. Existência de caderneta de dívidas:

A existência de caderneta de dívidas mostrada permite que se avalie a atividade de produção de carvão vegetal no Pará, quando longe de fiscalização, como atividade onde há o emprego de mão de obra análoga à escravidão.

Como no caso do trabalho infantil, existe aqui uma forma de trabalho que deveria ser considerada inaceitável em qualquer esfera.

O ICC é signatário do Pacto Nacional para a Erradicação do Trabalho Escravo e por isso após o início das auditorias os números deste indicador tendem a cair para zero rapidamente.

Novamente, a utilização de um indicador neste caso, pode servir como base para avaliar a evolução da questão. Para efeito de medição, aqui também deve ser binário o valor do indicador, já que qualquer valor diferente de zero não pode ser considerado sustentável do ponto de vista social.

5 CONCLUSÃO

Buscou-se, neste trabalho, discutir a sustentabilidade da utilização de carvão vegetal na siderurgia brasileira comparando as possíveis origens, mata nativa ou floresta plantada, no que diz respeito à teoria do desenvolvimento sustentável.

Economicamente, os custos para produzir em cada caso são muito diferentes. Diferem tanto na formação dos custos, quanto na participação de mão de obra e matéria prima.

A produção de gusa em larga escala, quando produzida com carvão vegetal, utiliza basicamente carvão vegetal de floresta plantada.

Ambientalmente, supondo o carvão vegetal de floresta plantada como uma forma neutra em emissões de carbono, a emissão de gases de efeito estufa é, neste caso, é considerada negativa. O carvão vegetal de floresta nativa absorve mais gases de efeito estufa do que libera durante a produção e queima.

A tecnologia dos fornos utilizados na produção do carvão também tem papel importante para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa, à medida em que reduzem a emissão de outros gases mais nocivos que o CO₂ e imprimem maior rendimento à produção de carvão vegetal.

Neste trabalho, foi proposta uma normalização do rendimento gravimétrico como forma de aumentar o fundo de escala aumentando as diferenças entre valores.

Por outro lado, a utilização de mata nativa na produção de carvão vegetal, sem considerar os casos de manejo sustentável, leva à emissão de gases de efeito estufa durante a produção, e durante a queima do carvão vegetal. Além disso, para contribuir negativamente com este cenário, a parcela de área desmatada deixa de fixar carbono da atmosfera.

Tal diferença está no fato de o crescimento da floresta plantada estar computado no balanço de emissões, enquanto que no caso da mata nativa, o crescimento da mata não é considerado parte do processo de produção do carvão.

Socialmente, a presença de trabalho infantil e mão de obra análoga à escrava são fatores que comprometem uma tentativa de desenvolvimento sustentável. São indicadores que deveriam ser iguais a zero, e quando zerados, poderiam ser descartados como índices

Ou seja, os indicadores sociais supracitados devem ser binários, e só têm sentido de existirem enquanto forem iguais à “sim, existe presença destas formas de trabalho”.

A presença de trabalhadores sem carteira assinada também é um fator preocupante, e que pode ter sua evolução analisada pelo indicador proposto.

Foi visto, com auxílio do gráfico 9, que o crescimento da produção de gusa no Brasil impulsiona o crescimento da produção por parte dos produtores independentes, e como consequência, causa um aumento na utilização de mata nativa para a produção de carvão vegetal. Sendo as oscilações na produção de ferro gusa a partir de carvão vegetal no Brasil mais bruscas e expressivas na produção por parte dos produtores independentes, o resultado é o crescimento da siderurgia a carvão vegetal à custa da utilização de mata nativa.

O carvão vegetal produzido a partir de mata nativa consiste em um problema ambiental e tem como grave consequência o desmatamento de forma indiscriminada do Cerrado e da Amazônia, responsáveis por uma parcela nada desprezível da biodiversidade do planeta.

A produção a partir de mata nativa é feita em sua maior parte por formas bastante rudimentares, expondo os trabalhadores a estas condições precárias de trabalho podendo comprometer sua saúde ou expondo-os à privação de direitos básicos, como carteira assinada e, por vezes, levando à violação de direitos humanos.

Por fim, entende-se que a produção de carvão vegetal a partir de mata nativa viola premissas básicas do desenvolvimento sustentável, fazendo com que o carvão vegetal seja sustentável de acordo com sua origem. Assim apenas é sustentável o carvão proveniente de floresta plantada.

A partir do exposto, uma das contribuições deste trabalho é alertar para o reforço de políticas de substituição da produção de carvão vegetal a partir de mata nativa por aquele oriundo de floresta plantada, de forma a prever o desenvolvimento econômico do setor de forma sustentável. A sustentabilidade da siderurgia, no caso discutido neste trabalho, com relação principalmente às questões ambientais, depende, fortemente, de medidas que possam ser tomadas por órgãos reguladores, para que esta questão não seja deixada, tão somente, à mercê do mercado.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] MENEZES, J. O. DE; CUNHA, O. G. C. DA; LIMA, I DE A. *Oportunidade de produção de aço em Mato Grosso do Sul*. **Revista Escola de Minas**. v.60 n.3 Ouro Preto Jul./Sep. 2007.
- [2] VITAL, M. H. F; PINTO, M. A. C. *Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil*. **Siderurgia, BNDES Setorial**. v.30 p237-297.
- [3] COLOMBO, S. F. DE O; PIMENTA, A. S; HATAKEYAMA, K. *Produção de carvão vegetal em fornos cilíndricos verticais: um modelo sustentável*. **XIII SIMEP**. Bauru, 6 a 8 de Novembro de 2006.
- [4] DIAS, E. C; ASSUNÇÃO, A. A; GUERRA, C.B; PRAIS, H. A. C. *Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil*. **Cadernos da Saúde Pública**. Rio de Janeiro. Jan-fev, 2002.
- [5] BRITO, J. O. *Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais*. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, Aug. 1990.
- [6] BRITO, J. O. *Princípios de produção e utilização do carvão vegetal de madeira*. **Documentos Florestais**. v.9 19p. ESALQ. Piracicaba. 1990.
- [7] PIMENTA, A. S. **Curso de atualização em carvão vegetal**. Apostila, documento interno. – Viçosa: UFV/DEF, 2002.
- [8] NORGATE, T; LANGBERG, D. *Environmental and economic aspects of charcoal use in steelmaking*. **ISIJ International**, Vol 49 (2009). No.4. pp. 587-595.
- [9] BRITO, J. O; MOURA, L. F; TACCINI, M. M; *Florestas, carvão vegetal e siderurgia no Brasil*. **Metalurgia & Materiais**. Caderno Técnico. v.65 jul/ago2009.
- [10] CDM - UNFCCC/CCNUCC. *Use of charcoal from planted renewable biomass in the iron ore reduction process through the establishment of a new iron ore reduction system*. **AM0082/ Version 1**. Sectoral scope: 09. EB 48.
- [11] AMS – Associação Mineira de Silvicultura. *Origem natural do carvão vegetal consumido no Brasil*:
http://www.silviminas.com.br/NumerosSetor/Arquivos/numerosetor_203.pdf, citado em 20/05/2010.
- [12] CRUZ, A. J; TOLEDO, N. N; TAKANO, C; MOURÃO, M. B; SALVAGNINI, W. M. *Carvão Vegetal: Uma proposta de produção sustentável*. **Metalurgia & Materiais**. Caderno Técnico. v.65 jul/ago2009.
- [13] PENNISE, D. M; SMITH, K. R; KITHINJI, J. P; REZENDE, M. E; RAAD, T. J; ZHANG, J; FAN, C. *Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil*. **Journal of Geophysical Research**. v.106

p24,147-24,155. 2001.

[14] MOURÃO, M. B; TAKANO, C. *Sustentabilidade da Siderurgia a Carvão Vegetal. Metalurgia & Materiais*. Caderno Técnico. v.65 jul/ago2009.

[15] BRUNDTLAND, G. H. *Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development*. UN Documents. Oslo. 1987.

[16] ADAMS, W.M. *The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting*, 29–31 Jan. 2006.

[17] Instituto Aço Brasil. *Industria do Aço e Mercado*: http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/Folder_Institucional_AcoBrasil.pdf, citado em 20/05/2010.

[18] MONTEIRO, M. A. *Em busca de carvão vegetal barato: o deslocamento da siderúrgica para a Amazônia. Novos Cadernos NAEA*. v.9 n.2 p.55-97. 2006.

[19] Appendix A: Carbon Dioxide Equivalents and Global Warming Potential

[20] XU, C; CANG, D. *A Brief Overview of Low CO₂ Emission Technologies for Iron and Steel Making. Journal of Iron and Steel Research, International*. v.17. n.3. 2010.

[21] ANTUNIASSI, M. H. R. *Trabalhador Infantil e Escolarização no Meio Rural*. Zahar Editores S. A. Rio de Janeiro. 1983.

[22] ARENA, M; AZZONE G. *Process based approach to select key sustainability indicators for steel companies. Ironmaking and Steelmaking*. 2010.

[23] VALE A. T; NOGUEIRA, M. V. P; SILVA, M. A. *Rendimento da Carbonização e Qualidade do Carvão Vegetal de Madeiras do Cerrado em Comparação ao Eucalyptus Grandis. Revista Árvore*. v.20, n.1, p 93-99. Viçosa, MG. 1996.

[24] SILVA, M. G; NUMAZAWA, S; ARAUJO, M. M; NAGAISHI, T. Y. R; GALVAO, G. R. *Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. Acta Amazonica*. v.37(1) p 61-70. 2007.

[25] PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM FOR AFFORESTATION AND REFORESTATION PROJECT ACTIVITIES (CDM-AR-PDD) - Version 04

[26] ICC – *Instituto Carvão Cidadão*: <http://www.carvaocidadao.org.br>, citado em 02/09/2010.

[27] MME – Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br>, citado em 21/11/2010.