

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Dissertação de Mestrado

**Alto-Forno Sustentável – O mercado de carbono no
Brasil com ênfase na produção de gusa a partir de
carvão vegetal de florestas plantadas de eucalipto**

Autor: Fabiana Fonseca de Moraes

Orientador: Profa. Tânia Lúcia Santos Miranda

2008

FABIANA FONSECA DE MORAIS

Dissertação de Mestrado

Alto-Forno Sustentável – O mercado de carbono no Brasil com ênfase na produção de gusa a partir de carvão vegetal de florestas plantadas de eucalipto

**Dissertação de Mestrado apresentada
ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química
da Universidade Federal de Minas Gerais**

Orientador: Profa. Tânia Lúcia Santos Miranda

**Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2008**

“Quem planeja a curto prazo deve cultivar cereais; a médio prazo, plantar árvores; a longo prazo, educar homens.”

De Kwantsu, século III A. C.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof. Tânia Lúcia Santos Miranda pela dedicação, paciência, incentivo e contribuições importantes.

À SIEMENS VAI pela disponibilização do tempo e apoio nas atividades deste trabalho. Especialmente ao colega de trabalho Mike Eden, pela ajuda na decisão do tema e apoio com informação e documentação.

À ArcelorMittal Florestas, em nome do Sr. Elesier, pelas informações essenciais a complementação deste trabalho.

À Plantar Reflorestamentos, em nome de Cristiana Oliveira, pelas respostas e ajuda na localização das informações.

Ao colega Scherer pelas informações essenciais e sempre na hora certa.

Ao meu marido Robson, pelo companheirismo e compreensão durante as fases difíceis.

À minha mãe pela torcida e constantes rezas.

Ao meu pai que sempre faz parte do meu pensamento nestes momentos de vitória.

À minha irmã Juliana, estudante de engenharia Florestal, pelo apoio e ajuda nas partes relativas à sua área.

À minha irmã Renata pelo inglês impecável, sempre pronta para ajudar.

Agradeço a todos que tornaram esse trabalho possível, que me ajudaram e incentivaram, torcendo pelo meu sucesso.

RESUMO

O aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, como resultado das atividades humanas, atraiu a atenção de cientistas e governantes. Como consequência a essas preocupações foi estabelecido o Protocolo de Quioto para criar obrigações legais para redução dos gases do efeito estufa. Países como o Brasil, participam, de forma voluntária, utilizando o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para ajudar os países desenvolvidos a atingirem suas metas determinadas pelo Protocolo. A siderurgia contribui com uma parcela destas emissões, principalmente devido ao processo de redução. O objetivo central deste trabalho é estudar a utilização do carvão vegetal como substituição ao coque, na produção de ferro-gusa em altos-fornos, como uma possível alternativa para a redução das emissões dos gases do efeito estufa. Os objetivos específicos propõem: analisar a história com enfoque na utilização do carvão vegetal; analisar a produção de florestas no Brasil; comparar as propriedades do carvão vegetal com as do coque; identificar a contribuição do Brasil no combate as mudanças climáticas; e identificar no processo de redução as emissões de gases do efeito estufa, juntamente com a análise de dois estudos de caso, o projeto Plantar, candidato ao MDL, e os projetos da ArcelorMittal Brasil. A metodologia empregada envolveu pesquisas bibliográficas e entrevistas com as empresas Plantar e ArcelorMittal Florestas. As principais conclusões apresentadas indicam que: a história demonstrou a capacidade do Brasil em produzir ferro-gusa a partir de carvão vegetal; as plantações florestais no Brasil, principalmente do gênero eucalipto, têm alta produtividade e baixos custos; o carvão vegetal apresenta diferenças nas propriedades em relação ao coque e a principal consequência se refere à limitação da capacidade das unidades, para o caso da utilização do carvão vegetal; o Brasil tem contribuído com programas que objetivam o combate às mudanças climáticas, sendo o terceiro país do mundo em números de projetos no MDL; os programas da ArcelorMittal e Plantar possibilitam a obtenção das Reduções de Emissões Certificadas (CERs), através de projetos de substituição de coque pelo carvão vegetal de florestas plantadas, para produção de ferro-gusa em altos-fornos. O projeto da Plantar demonstrou sustentabilidade e possibilidade de redução dos gases do efeito estufa por já ter parte de seu projeto validado pelo Comitê Executivo do MDL.

ABSTRACT

The increase of the atmospheric greenhouse gases, as a result of human activities, called the attention of scientists and governments. As a consequence of these concerns the Kyoto Protocol was established in order to determine legal obligations for the reduction of greenhouse gases. Countries like Brazil collaborate, in a voluntary way, using the Clean Development Mechanism (CDM) to help the developed countries reach the aims established by the Protocol. The steel companies collaborate with part of the emission, especially due to the iron ore reduction process. The main objective of this work is to study the use of char coal as a substitute of coke, in the production of pig iron in blast furnaces, as an alternative for the reduction in the emission of greenhouse gases. The specific objectives proposed are: the analysis of the history highlighting the use of char coal; the analysis of the forest production in Brazil; the comparison between the char coal properties with the coke ones; the identification of the Brazilian contribution in order to avoid climatic changes; and the identification of the greenhouse gases emission in the reduction process, together with the analysis of two case studies, the Plantar project, a candidate for the CDM, and the ArcelorMittal Brazil projects. The methodology employed involved a research on the bibliography and interviews in both companies Plantar and ArcelorMittal Florestas. The main conclusions presented identify that: history demonstrated Brazil's capacity to produce pig iron with char coal; the forest plantations in Brazil, specially the eucalyptus ones, have high productivity and low costs; char coal has different properties from coke, and the main consequence is the capacity limitation of the unities, in the case of char coal use; Brazil has been contributing with programs whose main objective is to avoid climatic changes, being the third country in the world in numbers of CDM projects; ArcelorMittal and Plantar projects make the attainment of Certified Reduction Emissions possible, through projects of coke substitution to char coal from planted forests for the pig iron production in blast furnaces. The Plantar project demonstrated sustainability and the possibility for the reduction of greenhouse gases as it already has part of its project validated by the MDL Executive Committee.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Propriedades de absorção da atmosfera e espectro de emissão do sol e da terra.....	14
Figura 2 – Preço e Volume de carbono negociado no CCX.....	26
Figura 3 – Modelamento do aumento da temperatura para os diversos cenários.....	32
Figura 4 – Esquemático simplificado do fluxograma de produção de uma usina (a) integrada (b) semi-integrada (c) não-integrada	40
Figura 5 – Regiões internas no alto-forno	44
Figura 6 – Perfil de temperatura no alto-forno	45
Figura 7 – Produção de aço bruto no mundo.....	47
Figura 8 – História do alto-forno.....	55
Figura 9 – Extensão dos recursos florestais na América Latina e Caribe	71
Figura 10 – Produtividade e custo da madeira	73
Figura 11 – Florestas nativas e plantadas para produção de carvão vegetal	76
Figura 12 – (a) Coqueria Heat Recovery da Sol Coqueria e (b) coqueria convencional	91
Figura 13 – (a) Processo SIFIC (b) Fornos de Alvenaria	96
Figura 14– Atividades de projeto do MDL no mundo	104
Figura 15 – Reduções de Emissões Projetadas no mundo	105
Figura 16 – Contribuição por tipo de gás nos projetos de MDL	106
Figura 17 – Oferta interna de energia no Brasil de 1970 a 2005.....	108
Figura 18 – Taxa de desflorestamento bruto da Amazônia brasileira até 2006	113
Figura 19 – Plantações da Plantar ao longo do tempo.....	123
Figura 20 – (a) Plantas típicas de carbonização no Brasil e (b) planta da Plantar.....	129
Figura 21 – Forno “rabo quente” tradicional e com chaminé.....	132
Figura 22 – Emissão de CO ₂ e cumulativa na <i>baseline</i> e no projeto.....	136
Figura 23 – Mercado de carbono segundo bolsas européias	139
Figura 24 – Evolução dos fornos de carbonização	144
Figura 25 – Estimativa de redução acumulada no projeto de carbonização da ArcelorMittal Inox.....	145
Figura 26 – Composição Percentual das Cargas em 2000	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Média da Troposfera.....	08
Tabela 2 – Produção de ferro-gusa no Brasil	48
Tabela 3 – Características do carvão vegetal e do coque	87
Tabela 4 – Comparação entre alto-forno a carvão vegetal e a coque	88
Tabela 5 – Custo posto-usina do coque e do carvão vegetal	99
Tabela 6 – Estudo de probabilidade com simulação das condições de competitividades.....	100
Tabela 7 – Status atual dos projetos na CIMGC e no Conselho Executivo do MDL .	106
Tabela 8 – Principais indicadores de emissões de CO ₂ da Energia	107
Tabela 9 – Estimativa <i>ex ante</i> de remoção de GEE por sumidouro no projeto.....	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AND	Autoridade Nacional Designada
AOD	Argon Oxygen Decarburization vessel (vaso de descarburização Argônio Oxigênio)
AR4	Fourth Assessment Report (Quarto Relatório de Avaliação do IPCC)
BDMG	Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais
BEN	Balanco Energético Nacional
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
CAF	Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCFE	Chicago Climate Exchange Futures - Subsidiária da CCX
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage (Captura e armazenagem de dióxido de carbono)
CCX	Chicago Climatex Exchange (Bolsa do Clima de Chicago)

CDM	Clean Development Mechanism (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CERFLOR	Certificado nacional de Qualidade ambiental de Florestas
CERs	Certificados de Emissão Reduzidas
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
CNS	Comissão Nacional de Siderurgia
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CONSIDER	Conselho Consultivo da Indústria Siderúrgica

COP	Conferência das Partes (Conference of Parts)
COPAM/MG	Comissão de Política Ambiental/Minas Gerais
CPM	Reunião das Partes para o Protocolo de Quioto
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CST	Companhia Siderúrgica de Tubarão
DCP	Documento de Concepção de Projeto
DRI	Direct Reduction Iron (ferro esponja)
ECX	Bolsa do Clima Européia
EITs	Economias em transição
ERUs	Emission Reduction Units (Unidades de Redução de Emissões)
ET	Emission Trade (Comércio de Emissões)
EUA	Estados Unidos da América
EUAs	European Union Allowances (Permissões da União Européia)
EXAA	Bolsa de energia da Áustria

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
FAR	First Assessment Report (Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC)
Fe ₂ O ₃	Hematita
FeO _{1,05}	Wustita
FOB	Free on Board (Livre de Bordo)
FSC	Forest Stewardship Council (Concelho Responsável por Florestas)
FWCC	First World Climate Conference (Primeira Conferência Climática Mundial)
GAF	Gás de Alto-Forno
GEEs	Gases do Efeito Estufa
GTZ	Deutsch Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Cooperação Técnica Alemã)
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
HFCs	Hidrofluorcarbonos
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBS	Instituto Brasileiro de Siderurgia
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IISI	International Iron and Steel Institute (Instituto Internacional de Ferro e Aço)
INC	Intergovernmental Negotiating Committee (Comitê de Negociação Intergovernamental)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Changes (Painel Internacional das Mudanças Climáticas)
IPEAD	Instituto de Pesquisas Econômicas, Administrativas e Contábeis de Minas Gerais
JI	Joint Implementation (Implementação Conjunta)
LBA	Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosférica na Amazônia
LD	Linz-Donawitz (convertedor)
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (atividades do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas)
MA	Maranhão
MAS	Associação Mineira de Silvicultura
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia

MCX	Multi-Commodity Exchange (Índia)
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME	Ministério de Minas e Energia
N ₂ O	Óxido Nitroso
n ^o	Número
NO ₃	Nitrato
NO _x	Nitratos
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
PA	Pará
PCF	Prototype Carbon Fund (Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial)
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas de energia
PET	Politereftalato de etila
PFCs	Perfluorcarbonos

ph	Potencial de hidrogênio
PIB	Produto Interno Bruto
PNF	Programa Nacional de Florestas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRODES	Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROPFLORA	Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas
R\$	Real
REDD	Reducing Emissions from Deforestation in Developing countries (Redução de emissão do desflorestamento em países em desenvolvimento)
RH	Degaseificação a vácuo
SAR	Second Assessment Report (Segundo Relatório de Avaliação do IPCC)
SCC	Social Cost of Carbon (Custo Social do Carbono)
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre

SIF	Sociedade de Investigações Florestais
SINDIFER	Sindicato das Indústrias de Ferro-gusa
SO _x	Sulfatos
TAR	Third Assessment Report (Terceiro Relatório de Avaliação)
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UHI	Urban Heat Island (Ilha Urbana de Calor)
ULCOS	Ultra Low CO ₂ Steelmaking (Siderurgia com ultra-baixo CO ₂)
UNEP	United Nations Environment Programme (Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas)
US\$	Dólar americano
V&M	Vallourece e Mannesmann
VERs	Verified Emissions Reduction (Reduções Verificadas de Emissões)
WCP	World Climate Programme (Programa Climático Mundial)
WMO	World Meteorological Organization (Organização Mundial Meteorológica)

LISTA DE UNIDADES

Gt	Giga-tonelada
GW	Giga-watts
ha	Hectare
K	Kelvin
kg	Quilograma
t	Tonelada
km ²	Quilômetro quadrado
kW/m ³	Quilo-watts por metro cúbico
l	Litro
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mCa	Metro de coluna d'água
Mcal/t	Mega-caloria por tonelada
mdc	Metros cúbicos de carvão

Mt	Mega-tonelada
MW	Mega-watts
MWh	Mega-watts-hora
Nm ³ /t	Normal metro cúbico por tonelada
° C	Graus Celsius
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
st	Estéreo
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
TWh	Tetra-watts por hora
Wm ⁻²	Watts por metro quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA.....	01
2 OBJETIVOS	05
2.1 Objetivos Específicos	05
3 REVISÃO DA LITERATURA	07
3.1 Clima e meio ambiente	07
3.1.1 O efeito estufa e as variações do clima	11
3.1.2 A influência do homem no clima	17
3.2 Desenvolvimentos internacionais das questões climáticas.....	18
3.2.1 Protocolo de Quioto	22
3.2.2 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	23
3.2.3 Relatórios de avaliação do IPCC	26
3.2.4 Principais resultados do AR4.....	28
3.3 Processo siderúrgico	38
3.3.1 Etapas de produção do aço.....	38
3.3.2 Produtos siderúrgicos	41
3.3.3 O processo de produção de ferro-gusa em alto-forno	42
3.3.4 Processos alternativos	46
3.4 Situação da Siderurgia no Brasil	47
4 METODOLOGIA.....	51
5 A HISTÓRIA DA SIDERURGIA.....	53
5.1 Objetivo Específico	53
5.2 Apresentação dos dados da literatura	53
5.2.1 História da siderurgia no mundo	53
5.2.2 A História da siderurgia no Brasil.....	55
5.3 Destaques dos dados da literatura.....	68

6 FLORESTAS DE EUCALIPTO	70
6.1 Objetivo Específico	70
6.2 Apresentação dos dados da literatura	70
6.2.1 Florestas no Brasil e no Mundo	70
6.2.2 Histórico do Desmatamento no Brasil	72
6.2.3 Florestas Plantadas	73
6.2.4 Florestas de Eucalipto	76
6.2.4.1 Características do Eucalipto	77
6.2.4.2 As Plantações de Eucalipto e o meio ambiente	77
6.2.4.3 Aspectos Sócio-Econômicos	80
6.2.5 Quantificação do carbono em uma Floresta de Eucalipto.....	80
6.2.6 Avaliação Econômica da Floresta de Eucalipto.....	81
6.2.7 Área necessária para suprir carvão vegetal com florestas plantadas.....	83
6.3 Destaques dos dados da literatura.....	84
 7 CARVÃO VEGETAL VERSUS COQUE	 87
7.1 Objetivo Específico	87
7.2 Apresentação dos dados da literatura	87
7.2.1 Propriedades do carvão vegetal e do coque	87
7.2.2 Carvão mineral e coque aplicados à siderurgia.....	88
7.2.3 A biomassa aplicada à siderurgia.....	91
7.2.4 Estudo comparativo entre o carvão vegetal e o coque	96
7.3 Destaques dos dados da literatura.....	101
 8 O BRASIL E O MDL	 104
8.1 Objetivo Específico	104
8.2 Apresentação dos dados da literatura	104
8.2.1 MDL e a situação no Brasil e no mundo.....	104
8.2.2 Contribuição brasileira para evitar a mudança do clima.....	106
8.2.2.1 Projeto Minas Ambiente.....	113
8.3 Destaques dos dados da literatura.....	114

9 EMISSÕES DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NO ALTO-FORNO E OS ESTUDOS DE CASO	116
9.1 Objetivos Específicos	116
9.2 Apresentação dos dados da literatura	116
9.2.1 Efluentes atmosféricos no alto-forno	116
9.2.2 Os gases do efeito estufa no alto-forno	118
9.2.3 Estudo de caso – Empresa Plantar	119
9.2.3.1 Projeto Florestal	120
9.2.3.2 Projeto de Carbonização.....	129
9.2.3.3 Projeto Industrial	137
9.2.3.4 Descrição da negociação dos créditos	138
9.2.4 Estudo de caso – Empresa ArcelorMittal.....	140
9.2.4.1 Arcelor Mittal Aços Longos (Florestas e Juiz de Fora)	140
9.2.4.2 ArcelorMittal Inox (Timóteo / Jequitinhonha).....	142
9.2.5 A situação da infra-estrutura brasileira.....	145
9.3 Destaques dos dados da literatura.....	147
10 SÍNTESE DOS DADOS	150
11 CONCLUSÕES.....	154
12 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	157
13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
APÊNDICE A - Cálculo da Área de Florestas Plantadas.....	162
APÊNDICE B - Comparativo do preço carvão vegetal <i>versus</i> coque	163
ANEXO A - Cálculo do tamanho da Amostra pelo critério de Neyman.....	164

1 INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA

Nos últimos 100 anos a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou em 25% (Korthas *et al*, 2004). Este fato pode ser reconhecido como uma das principais causas do aquecimento global. O efeito estufa é um processo natural responsável pelo clima na Terra. Este efeito proporciona um ambiente agradável na superfície da Terra, possibilitando a vida. Os chamados gases do efeito estufa, CO₂, CH₄, N₂O, CFCs (clorofluorcarbonetos), são responsáveis por essa elevação natural na temperatura da superfície da Terra. Porém, as atividades humanas têm aumentado a concentração destes gases na atmosfera. O homem, modificando o ambiente, pode alterar o clima global, alterando o efeito estufa natural.

Em 1997, em Quioto no Japão, um protocolo internacional foi estabelecido em resposta às preocupações sobre os efeitos irreversíveis das mudanças climáticas, como resultado das atividades humanas. O Protocolo de Quioto determinou compromissos de redução de pelo menos 5% dos gases do efeito estufa, em relação aos níveis de 1990, no período de 2008 a 2012, para os países do Anexo I. Em resposta ao Protocolo, em 2001, a comunidade europeia deu início ao programa “Meio Ambiente 2010: Nosso futuro, nossa escolha (*Environment 2010: Our future, Our Choice*)”. Um dos objetivos desse programa é estabilizar a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera a um nível que não causaria variação no clima da terra. A meta é reduzir a emissão dos gases do efeito estufa em 8% dos valores de 1990, durante o período de 2008 a 2012 e reduzir em 20% a 40% até 2020. Conforme o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, AR4 (IPCC, 2007), menos de 5% do aquecimento observado nos últimos anos podem ser explicados por forças naturais. A maior parte é atribuída às ações do homem. Ainda, segundo o AR4 (IPCC, 2007), dois terços das emissões de CO₂ são provenientes de combustíveis fósseis, sendo que, do CO₂ emitido, 45% permanecem na atmosfera, 30% é absorvido pelos oceanos e apenas 25% é utilizado na biosfera terrestre.

Após a Segunda Guerra Mundial, houve um aumento no consumo de aço, juntamente com um grande desenvolvimento das tecnologias e conseqüente redução do consumo de combustível e custos operacionais. Durante as últimas décadas o alto-forno desenvolveu as mais eficientes tecnologias e modos operacionais. O consumo de carbono está hoje entre os menores possíveis, chegando, em um alto-forno otimizado, a

5% dos limites impostos pela termodinâmica (Korthas *et al.*, 2004). A maior parte das emissões de CO₂ na siderurgia origina-se da redução do minério de ferro e não da combustão (IBS, 2007) e, apesar de toda a tecnologia já desenvolvida, segundo Korthas *et al* (2004), essas emissões chegam a quase 5% do total das emissões de CO₂ mundial.

Em 2004, a siderurgia européia iniciou um projeto chamado ULCOS (*Ultra Low CO₂ Steelmaking* – Siderurgia com ultra-baixo CO₂), com o objetivo de reduzir a emissão dos gases do efeito estufa em mais de 50% do produzido em um alto-forno atualmente. O objetivo central do ULCOS é desenvolver processos alternativos capazes de operar com emissões de CO₂ muito baixas, reduzindo drasticamente o consumo de combustível fóssil, hoje o combustível base da maior parte dos alto-fornos. Para obtenção do objetivo, o projeto sugeriu cinco possibilidades: o uso de hidrogênio ou de gases ricos em hidrogênio; uso de materiais metalizados livres de carbono; uso de energia elétrica livre de carbono; o uso de biomassa; reciclo do gás de topo. O ULCOS deverá estudar e selecionar um processo e se preparar para a construção de uma planta piloto em 10 anos.

A motivação para o desenvolvimento do presente trabalho se baseia nos estudos realizados pelo grupo europeu do projeto ULCOS, que descreveu a utilização de biomassa no alto-forno como uma das alternativas da redução de emissão dos gases do efeito estufa. O Brasil demonstrou, através da sua história, ser possível a produção de ferro-gusa a partir de um redutor renovável e totalmente ecológico, o carvão vegetal, produzido por madeira de árvore reflorestada. O Brasil é um país com grande extensão territorial, clima e outras condições propícias para a produção de carvão vegetal para consumo no alto-forno, como uma forma de reduzir a emissão global de CO₂. Tanto o coque como o carvão vegetal são fontes de carbono capazes de fornecer o combustível e o redutor necessários para produção do ferro-gusa no alto-forno. Porém, cada um possui diferenças básicas nas suas propriedades, que influenciam o processo que os utilizam. O carvão vegetal é favorecido pela alta produtividade das florestas brasileiras, além de possibilitar a não dependência do mercado intencional, visto que, no Brasil, o carvão mineral é importado, já que o carvão brasileiro possui alto teor de cinzas. O Brasil também é motivado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que como parte do Protocolo de Quioto, possibilita a participação voluntária de países em desenvolvimento, permitindo a venda de reduções certificadas de emissão para os países

desenvolvidos. O Brasil se utiliza deste mecanismo para a redução das emissões dos gases do efeito estufa, auxiliando os países desenvolvidos no cumprimento de suas metas. A utilização do carvão vegetal para a produção de ferro-gusa é um dos projetos existentes que objetiva os certificados de emissões reduzidas (CERs).

Em 2007, o Brasil era o 10º produtor mundial de aço, com 33,8 milhões de toneladas de aço bruto. A tendência de aumento da produção do aço no Brasil faz com que o assunto das emissões dos gases do efeito estufa na siderurgia seja foco. Neste contexto é que se insere a presente Dissertação de Mestrado, que pretende estudar a possibilidade de produção de ferro-gusa, no Brasil, com menor emissão de gases do efeito estufa, com a utilização da biomassa, carvão vegetal, proveniente de florestas plantadas.

Para fundamentar o estudo, é apresentada, no capítulo 3, a revisão da literatura contendo informações e definições que possibilitam o desenvolvimento dos temas centrais apresentados nos capítulos seguintes. No capítulo 3 são discutidos, de forma geral, temas como o clima, os ciclos biogeoquímicos, poluição causada pelo homem no ambiente, efeito estufa natural e antropogênico. São explicitados, também no capítulo 3, os desenvolvimentos internacionais das questões climáticas, esclarecendo o Protocolo de Quioto e os seus mecanismos, e descrevendo as recentes avaliações das modificações do clima. O processo siderúrgico, o alto-forno e a situação da siderurgia no Brasil também são apresentados.

No capítulo 4, é apresentada a metodologia a ser empregada neste trabalho para atender os objetivos apresentados no capítulo 2. No capítulo 5, são apresentados os fatos marcantes da história da siderurgia no Brasil e no Mundo, dando destaque ao surgimento e manutenção da siderurgia a carvão vegetal no País e a instalação da grande siderurgia a coque.

No capítulo 6 é apresentado um descritivo sobre as florestas no Brasil e no Mundo, o desenvolvimento do desmatamento e das florestas plantadas, dando ênfase às florestas de Eucalipto. No capítulo 6 é apresentado, também, o cálculo da área necessária para produzir ferro-gusa no Brasil com carvão vegetal de florestas plantadas. A comparação entre o carvão vegetal e o coque, suas características físicas, químicas e de processo e os preços no mercado são apresentados no capítulo 7. No capítulo 8 são

destacados os projetos brasileiros no MDL e as contribuições do País no combate às mudanças climáticas.

No capítulo 9 é feita uma análise das emissões atmosféricas dos altos-fornos, inclusive dos gases do efeito estufa e são apresentados dois estudos de caso, Plantar e ArcelorMittal, onde o carvão vegetal é utilizado para a produção de ferro-gusa, objetivando a redução das emissões dos gases do efeito estufa. No capítulo 9 são descritos, também, alguns dos problemas enfrentados pela siderurgia no Brasil. As conclusões são apresentadas no capítulo 10, juntamente com as sugestões para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação é estudar a utilização da biomassa, carvão vegetal, como substituição ao combustível fóssil, coque, na produção de ferro-gusa em altos-fornos, como uma possível alternativa para a redução das emissões dos chamados gases do efeito estufa. Será explorada a produção sustentável de carvão vegetal a partir de plantações de eucalipto, com o foco no mercado de carbono e suas oportunidades para agregar a captação de valores e incentivar o setor siderúrgico brasileiro.

Este estudo se justifica por explorar o relacionamento entre os temas mudança climática, mercado de carbono, siderurgia, uso da biomassa e reflorestamento, além de avaliar a vocação florestal do Brasil, principalmente na implantação, condução e exploração de florestas de eucalipto.

Este estudo possui um caráter descritivo e não tem como objetivo propor novos mecanismos e meios de estruturação do mercado de carbono no Brasil.

2.1 Objetivos Específicos

1. Analisar a história e o surgimento da siderurgia no Brasil, identificando as oportunidades e as dificuldades para manutenção da siderurgia a carvão vegetal.
2. Verificar as condições no Brasil para a produção de florestas de eucalipto, qualificando os aspectos técnicos, sócio-econômicos, ambientais e políticos e quantificando a área mínima necessária para a sua implantação.
3. Comparar as propriedades físicas e químicas do carvão vegetal com as do coque e suas utilizações nos altos-fornos, objetivando demonstrar a possibilidade de substituição de um pelo outro. Comparar fatores econômicos e a viabilidade dos dois combustíveis.
4. Identificar a contribuição do Brasil no combate às mudanças climáticas, comparando a situação do Brasil com os outros países nos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).
5. Identificar as emissões de gases do efeito estufa no processo de produção de ferro-gusa, discutindo as possíveis rotas de diminuição destas

emissões. Identificar projetos de MDL que objetivam a obtenção dos certificados de emissões reduzidas (CERs), com a substituição do coque pelo carvão vegetal em altos-fornos. Identificar as principais dificuldades na implementação destes projetos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Clima e meio ambiente

O homem vive na biosfera, local onde se desenvolve a vida animal e vegetal. Para manter a vida na biosfera é necessário suprimento de energia e água líquida em quantidade substancial. A principal fonte de energia é a radiação solar, responsável por fluxo de energia contínuo. A água é a substância mais abundante na biosfera, com 1,4 milhão de quilômetros cúbicos, sendo 97,2% vinda dos oceanos e 2,1% em forma de gelo (Derisio, 2000). É na biosfera que ocorrem os principais ciclos dos elementos químicos do ambiente para os organismos e vice-versa, chamado de ciclo biogeoquímico. A vida se mantém devido a este ciclo contínuo e equilibrado entre o meio físico (abiótico) e os seres vivos (biótico). As trocas de matérias dos ciclos se dão de uma forma mais ou menos circulares, existindo sempre um compartimento que funciona como um reservatório do nutriente, com objetivo de garantir o escoamento lento e regularizado do elemento em questão. Esse compartimento pode estar localizado na atmosfera, como no caso do nitrogênio, ou na crosta terrestre, como para a água. Existem importantes ciclos a serem destacados como o da água, do oxigênio, do nitrogênio, do carbono.

A atmosfera é dividida em diversas camadas conhecidas como: troposfera, camada que se encontra cerca de 12 km acima da crosta terrestre e, onde se desenvolve as atividades humanas; estratosfera, acima da troposfera chegando até 100 km; ionosfera, onde a radiação ultravioleta provoca reações fotoquímica com formação de moléculas ativadas ou decomposição das moléculas em átomos ou íons. A troposfera é a região relativamente conhecida e estudada, devido a sua interação contínua com o homem. A composição média da troposfera é apresentada na tabela 1 (Derisio, 2000).

O ar é utilizado, em grandes quantidades, pelos seres humanos, animais e plantas para usos metabólicos, fenômenos naturais meteorológicos, comunicação, transporte, combustão, processos industriais e, também, como receptor e transportador de resíduos da atividade humana. Com o uso indiscriminado ou abusivo do homem surge a poluição do ar. Segundo Derisio (2000), a poluição do ar é, em linhas gerais, a presença ou lançamento no ambiente atmosférico de substâncias em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar do

homem, ou no pleno uso e gozo de sua propriedade. A poluição do ar pode causar danos ou efeitos à saúde, materiais, nas propriedades da atmosfera, na vegetação e na economia. Um adulto requer diariamente cerca de 15 kg de ar, 1,5 kg de alimento sólido e 2 l de água. Estima-se que uma pessoa pode viver 5 semanas sem alimento, 5 dias sem água, mas não mais que 5 minutos sem ar (Derisio, 2000).

Tabela 1 – Composição Média da Troposfera

Componentes Gasosos	Composição	
	ppm (volume)	ppm (peso)
Nitrogênio	780.000	755.100
Oxigênio	209.500	231.500
Argônio	9.300	12.800
Dióxido de Carbono	300	460
Neônio	18,00	12,50
Hélio	5,20	0,72
Metano	2,20	1,20
Criptônio	1,00	2,90
Óxido Nitroso	1,00	1,50
Hidrogênio	0,50	0,03
Xenônio	0,08	0,36

Fonte: Derisio (2000)

Os efeitos da poluição do ar na saúde podem provocar doenças ou até levar à morte. Das doenças, incluem-se encurtamento da vida, dano ao crescimento, alteração das funções fisiológicas tais como, transporte de oxigênio pela hemoglobina e outras funções do sistema nervoso. Recentemente, têm-se aumentado os casos de episódios devido aos efeitos agudos da poluição do ar, causando um alto índice de mortalidade e também um aumento de casos de câncer do pulmão, bronquite, enfisema e asma. A poluição do ar também causa efeitos sobre os materiais como aumento da abrasão, deposição, remoção, ataque químico direto e indireto e a corrosão eletrolítica. Com a poluição, as propriedades da atmosfera são modificadas. A alteração da visibilidade é a primeira indicação da existência da poluição do ar. Define-se visibilidade (Derisio, 2000) como a maior distância, numa dada direção, na qual é possível ver e identificar “a olho nu”, durante o dia, um proeminente objeto escuro contra o céu no horizonte e durante a noite, uma conhecida e, moderadamente intensa fonte de luz. A redução da visibilidade ocorre devido à presença de partículas sólidas e líquidas suspensas na atmosfera, que absorvem e dispersam a luz. As plantas podem ser afetadas pelos

poluentes atmosféricos devido à redução da penetração da luz, deposição de poluentes no solo e penetração de poluentes em seus estômatos.

O custo de perdas devido à poluição é complexo de ser estimado, porém alguns estudos foram feitos com este intuito como, por exemplo: nos Estados Unidos, em 1913, este valor era de 20 dólares por habitante por ano; na Inglaterra, em 1954, o custo total foi de 250 milhões de libras esterlinas; na França, em 1957, foi de 6.000 francos por habitante por ano. Deve ser considerado também o custo relativo à prevenção e ao controle da poluição do ar, que incluem os gastos governamentais e privados. Nos Estados Unidos, em 1968, esse valor era de 10 centavos de dólar por habitante por ano. Estima-se (Derisio, 2000) que para cada dólar gasto na prevenção e controle da poluição do ar, se evita o gasto de dezesseis dólares decorrentes dos danos causados.

Para a determinação da concentração de um poluente na atmosfera mede-se o grau de exposição dos receptores, isto é, o resultado final do processo de lançamento, após a sua interação na atmosfera. Portanto, para casos onde são mantidas as mesmas quantidades de emissões, a qualidade do ar é melhor ou pior dependendo das condições meteorológicas, que determinam maior ou menor diluição. A estabilidade atmosférica também influencia no aumento ou diminuição dos efeitos causados pela poluição atmosférica, determinando o formato das plumas formadas pelas fontes de emissão. Do ponto de vista da poluição do ar, a estabilidade, onde a temperatura é constante com a altura, e a inversão térmica, onde a temperatura aumenta com a altura, são as condições mais importantes, já que quase não ocorre a dispersão dos poluentes, ou esta é muito pequena. A inversão ocorre geralmente de madrugada, quando o solo se esfria por radiação ou uma camada da atmosfera fica mais comprimida entre as outras, neste caso, a camada de inversão detém a subida natural dos poluentes.

As fontes de poluição podem ser classificadas como estacionárias (combustão, processos industriais, queima de resíduo sólido), móveis (veículos, aviões, barcos, trem), naturais (poeira, vulcão) e provenientes de reações químicas na atmosfera (Ozônio, Nitratos, Orgânicos, Aerosol fotoquímico). O nível de poluição ou a qualidade do ar são medidos pela quantificação das substâncias poluentes presentes. As substâncias usualmente consideradas poluentes do ar são: compostos de enxofre (SO_2 , SO_3 , H_2S , sulfatos); compostos de nitrogênio (NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , nitratos),

compostos orgânicos de carbono (hidrocarbonetos, álcalis, aldeídos, cetonas e ácidos orgânicos); monóxido de carbono, dióxido de carbono; compostos halogenados (HCL, HF, cloretos e fluoretos); e material particulado (mistura de compostos no estado sólido ou líquido).

Para medição e monitoramento da qualidade do ar torna-se necessária a fixação de padrões. Um padrão de qualidade do ar define legalmente um limite máximo para a concentração de um componente atmosférico e que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas (Derisio, 2000). Estes valores são determinados por estudos científicos dos efeitos destes poluentes. O IBAMA, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, criado em 1989, é o órgão responsável pela formulação, coordenação e execução da política nacional de controle da poluição do ar. O IBAMA estabeleceu padrões nacionais de qualidade do ar na Portaria Normativa nº 348 de 13/03/1990. Estes padrões foram submetidos ao CONAMA e transformados na Resolução nº 3, em 28/06/90. Nessa resolução foram definidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os padrões primários (níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos) e os padrões secundários (limites meta, ou seja, considerados valores mínimos para o efeito à flora e fauna). Os parâmetros regulamentados são partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e o dióxido de nitrogênio.

Segundo Freukiel (1956, *apud* Derisio, 2000), o problema da poluição do ar deve ser analisado em quatro etapas: a produção, emissão, transporte e recepção de poluentes. Técnicas de controle em cada uma das etapas podem ser utilizadas para reduzir riscos da poluição como, por exemplo:

- Planejamento territorial, com proibição de instalação de indústria em certas áreas;
- Eliminação e minimização de poluentes, com o uso de matérias primas menos poluidoras, manutenção e otimização dos processos;
- Concentração de fontes poluidoras para possibilitar e facilitar o posterior tratamento;
- Diluição dos poluentes, com utilização de chaminés elevadas e emprego de substâncias que possibilitem reduzir a emissão de materiais desagradáveis;

- Equipamentos de controle de poluentes, que visem remover os poluentes antes que sejam lançados na atmosfera.

Os equipamentos de controle devem ser escolhidos em função do estado físico do poluente, grau de limpeza desejada, propriedade do gás transportado, propriedade do contaminante e custo. Os equipamentos de controle da poluição do ar mais comuns são as torres de absorção, os condensadores, incineradores para gases, os coletores inerciais (ciclones, etc.), coletores centrífugos, lavadores, filtros e precipitadores eletrostáticos.

3.1.1 O efeito estufa e as variações do clima

O clima é descrito como a síntese das condições climáticas registradas durante um longo período de tempo. O clima está longe de ser estático. As condições climáticas de uma região mudam dia a dia e o clima do planeta modifica em um prazo de anos, décadas, séculos, milênios e a um período correspondente a história geológica da Terra. Vários fatores são responsáveis por estas variações, alguns internos ao sistema climático, outros externos, alguns devido a ocorrências naturais, outros devido às atividades humanas. Alguns dos fatores que podem determinar o clima da Terra são: a radiação incidente do sol; a forma esférica da terra orientada por eixos; o efeito estufa natural criado pelo vapor de água e outros gases; os vários processos físicos, químicos e biológicos que acontecem na atmosfera como, por exemplo, os ciclos biogeoquímicos (ciclo da água, ciclo do carbono, balanço de energia); a rotação da Terra, que modifica a circulação térmica da atmosfera e oceanos; a distribuição dos continentes; além, do resultado da ação dos seres humanos na natureza (Bureau of Meteorology, 2003).

Variações naturais, bem documentadas, evidenciam a variação da órbita da Terra e consequentemente variações de incidência de energia solar. A energia de radiação do sol também é conhecida por variar de tempos em tempos, porém, estas variações são pequenas, em torno de 0,1% a 0,4%. Não há evidências atuais de variações na taxa de rotação da Terra que demonstrem qualquer mudança no clima. Erupções de Vulcão podem injetar grandes quantidades de sulfatos e outros aerossóis na estratosfera, reduzindo a incidência de radiação e levando a um resfriamento transitório de aproximadamente 0,5° C por vários anos. Modificações na topografia da terra e do mar, resultantes de processos geológicos, influenciam na distribuição e na absorção da radiação solar, com impedimento físico na recirculação da atmosfera e oceanos. Na falta

de todas as influências externas, o clima tem flutuações naturais em períodos de tempo de meses a mil anos. Uma destas variações naturais é conhecida como El Niño (Oscilação do Sul), que ocorre de 3 a 8 anos e envolve o ciclo de aquecimento e resfriamento do trópico central do oceano Pacífico. O extremo oposto do ciclo, quando o Oceano Pacífico central é resfriado mais que o normal, é conhecido como La Niña, e seu impacto é o oposto do El Niño, podendo afetar o clima por décadas.

O homem tem também recentemente participado com grande influência neste processo de modificação do clima do planeta. Com a construção das cidades, uso da terra, aumento da utilização de combustível fóssil, desmatamento, o homem contribuiu com alterações no clima local e globalmente. A poluição sempre foi tratada como um assunto local, antes de serem considerados os problemas em larga escala atualmente observados. Problemas, como chuva ácida em fronteiras internacionais, não podem ser tratados apenas conforme a legislação local. O sistema político tem respondido devagar a este desafio. Iniciou-se a preocupação pelos efeitos a longo prazo dos poluentes que afetam o clima globalmente. Alguns efeitos criados em partes do globo, continuam a mudar na mesma direção, mesmo após a redução do componente responsável pelo efeito.

O efeito estufa, ou aumento global da temperatura da Terra, é um processo natural, responsável, em grande parte, pelo clima na Terra. Este efeito proporciona um ambiente quente e agradável na superfície da Terra, possibilitando os seres vivos de se desenvolverem e prosperarem. A temperatura do planeta é predominantemente influenciada pela intensidade de radiação do sol, a distância do planeta ao sol e do albedo, ou refletividade da radiação solar. O fluxo total de energia radiante do sol na atmosfera da Terra é de 1.353 kW/m^2 (De Nevers, 2000). Utilizando apenas a energia radiante do sol, chega-se a um valor de aproximadamente 5° C para a temperatura da Terra, 10° C abaixo do valor observado para a temperatura média. O efeito de se ter uma atmosfera causa um aumento de aproximadamente 10° C na temperatura média da Terra. Este valor é mais impressionante, quando se considera que nem toda a radiação solar é absorvida pela Terra. A Terra reflete para o espaço cerca de 30% de toda a radiação solar incidente. O topo das nuvens, superfície de gelo e oceanos são responsáveis por essa reflexão, que é conhecida como albedo, e para a Terra, tem o valor de 0,3. Considerando este valor de albedo, a temperatura calculada da Terra seria de -19° C e o

mundo seria congelado. Porém, o que se observa, é um valor médio bem maior, causado pela presença da atmosfera, que bloqueia em grande parte a radiação de saída. Para uma condição de 0,7 da radiação incidente (devido ao albedo da Terra de 0,3) e considerando 15° C a temperatura média da Terra, calcula-se que apenas 86% da radiação que entra é retransmitida de volta. Se algum fator modificar esta proporção, a Terra irá balancear este fluxo de energia pela modificação da temperatura.

Nuvens bloqueiam a radiação que entra e a que sai. O que não é verdade para as substâncias do ar contendo CO₂, H₂O, CH₄ e outros gases que absorvem a energia radiante. As propriedades de absorção de acordo com o comprimento de onda para os gases da atmosfera CH₄, N₂O, O₂ e O₃, e CO₂ são mostrados na figura 1. Pode-se observar que o oxigênio e o ozônio bloqueiam toda luz com comprimento de onda abaixo de 0,28 micrometro e que o dióxido de carbono bloqueia ondas com comprimento maiores que 15 micrometros. A atmosfera combinada é transparente para comprimentos entre 0,3 e 0,7 micrometro e tem várias janelas para outros comprimentos como a de 8 e 12 micrometros. A molécula de gás somente absorve os fótons de luz se esta puder realizar um rearranjo interno, que requer a mesma quantidade de energia carregada pelo fóton. Para comprimentos de onda menores que 0,28 micrometro, a transição interna envolve troca de elétrons dos orbitais. Para comprimento de ondas acima de 1 micrometro, as modificações envolvem a vibração de vários átomos na molécula. Na janela de 0,28 a 1 micrometro, o fóton tem pouca energia para causar o movimento dos elétrons e muita energia para provocar uma vibração intramolecular.

Observa-se da figura 1 a distribuição de energia da luz solar e da radiação infravermelha na Terra. Conforme De Nevers (2000), estes valores são idealizados da radiação de um corpo negro a 6000 e 288 K, que correspondem à temperatura do sol e da Terra respectivamente. O espectro real é bem mais complexo, porém para este estudo, o espectro simplificado é suficiente. No gráfico é mostrado que a fração total de energia emitida por micrometros de comprimento de onda tem um máximo de 140% por micron para o sol e 7% por micron para a Terra, ou seja, o espectro do sol está em escala diferente do da Terra. O sol tem um pico de intensidade a 0,5 micrometro, correspondendo à luz visível e a Terra a 10,3 micrometros, na região do infravermelho. Comparando os diagramas de emissão e de absorção de radiação pela atmosfera, observa-se que a luz do sol entra na atmosfera praticamente sem impedimento, exceto

pelas áreas de nuvens, enquanto o pico de radiação da Terra encontra-se na área não tão aberta. Esta é a maior razão que explica porque a atmosfera é menos transparente para a radiação infravermelha da Terra do que para radiação do sol. Na figura 1 observa-se também que o CH_4 , N_2O , CO_2 , e H_2O têm alguma absorção na região entre 8 a 12 micrometros. O mesmo é verdade para os clorofluorcarbonetos, ou CFCs, não mostrados nesta figura. Como ilustração da importância destes gases para elevação da temperatura, pode-se analisar a situação de Vênus. Vênus é mais perto do sol que a Terra, porém mais refletivo. Calculando-se com base apenas na distância e no albedo, a temperatura seria de -46°C . Porém, o que se observa por medições feitas por sondas espaciais é uma temperatura de 464°C . A atmosfera de Vênus é extremamente densa e rica em dióxido de carbono (Bureau of Meteorology, 2003).

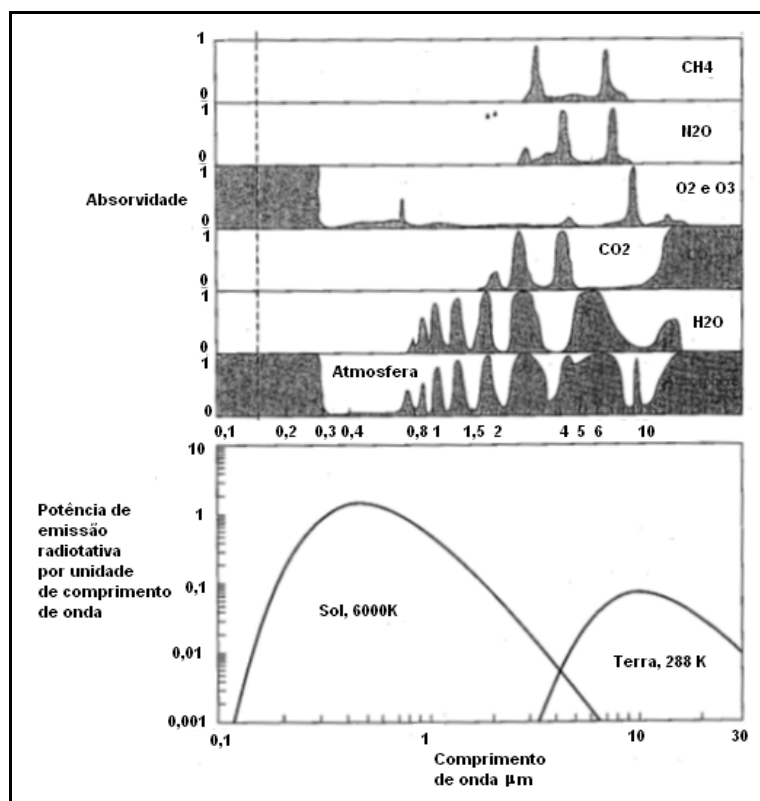


Figura 1 – Propriedades de absorção da atmosfera e espectro de emissão do sol e da terra
Fonte: De Nevers, 2000.

Se houver um aumento da concentração de qualquer um dos gases do efeito estufa na atmosfera, a janela de 8 a 12 micrometros ficaria menos transparente, diminuindo a radiação que sai da Terra e, conseqüentemente, aumentando a temperatura média. Os gases CO_2 , CH_4 , N_2O e CFCs são chamados de gases do efeito estufa (GEE). Atividades humanas têm aumentado a concentração de gases do efeito estufa na

atmosfera. O aumento da temperatura global pela adição de gases do efeito estufa terão efeitos positivos e negativos no albedo, pelo aumento das nuvens, redução da neve e da cobertura de gelo. Conforme De Nevers (2000), a melhor estimativa sugere que, o aumento do conteúdo de vapor de água tem um efeito geral de abaixar levemente a temperatura ambiente. Futuras discussões são apenas grosseiras explicações da complexidade do balanço de energia da Terra. De Nevers (2000) também mostra a contribuição de vários gases do efeito estufa na redução da transparência da atmosfera no período de 1980 a 1990, indicando que o CO₂ contribuiu em mais que a metade (55%), seguido pelo CFC (24%), CH₄ (15%) e N₂O (6%).

Um dos mais importantes gases do efeito estufa, o dióxido de carbono, também conhecido como gás carbônico, é um gás incolor e inodoro, tendo feito parte da Terra desde que esta tem uma atmosfera. A concentração do dióxido de carbono na atmosfera terrestre em 2005 era de 379 ppm (IPCC, 2007). Esta concentração não tem nenhum efeito nocivo à saúde humana e é totalmente necessária para a fotossíntese. O corpo humano produz gás carbônico à medida que consome alimento e respira. Dados geológicos mostram um conteúdo de CO₂ na atmosfera antes de 1750 a.C de 280±10ppm, permanecendo neste valor por vários séculos. Por volta de 1750, os homens começaram a queimar combustíveis em quantidades elevadas e a quantidade de CO₂ na atmosfera aumentou. O total de CO₂ emitido por queima de combustível pode ser representado pela equação: $(\text{Emissão Total de CO}_2) = (\text{População Global}) \times (\text{Taxa per capita de uso do combustível}) \times (\text{Emissão de CO}_2 \text{ por unidade de combustível utilizado})$. Para a diminuição do total de CO₂ emitido deve-se reduzir algum dos termos desta equação. A população global está crescendo 1,4% por ano, porém, este valor, tende a diminuir com os anos. A utilização do combustível depende do grau de desenvolvimento do país. Países mais ricos, como Estados Unidos e Japão, possuem um alto consumo per capita, países mais pobres da América Latina e África têm baixos consumos de combustível. À medida que os países pobres se desenvolverem, este consumo global pode aumentar. As pessoas utilizam energia para alimentação, cozinha, iluminação, aquecimento, transporte, processos industriais, refrigeração e comunicação. À medida que aumenta o acesso das pessoas a estes recursos, aumenta o consumo de energia e, conseqüentemente, de combustível. A emissão de CO₂ por unidade de combustível utilizado depende da taxa de hidrogênio por carbono do combustível

queimado. Para iguais quantidades de energia produzida, a quantidade relativa de CO₂ emitida é de aproximadamente 1,0 para o carvão; 0,8 para o óleo; e 0,6 para o gás natural. Trocando o carvão para óleo ou para gás natural diminuem as taxas de emissões de gás carbônico. É possível também capturar o CO₂ emitido pela combustão, porém, a reação possível, utiliza CaO, que produz mais CO₂ na sua formação. Outra opção proposta é depositar CO₂ em oceanos profundos para possibilitar a reação que se processa em escala geológica: $\text{CO}_2 + \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Porém esta idéia não saiu ainda do papel e os efeitos no oceano são desconhecidos. O método conhecido para diminuir o crescimento de CO₂ na atmosfera é diminuir o uso de combustíveis fósseis (gás, óleo, carvão, etc.) e parar com o desflorestamento. Energia solar, vento, hidroelétrica e nuclear não emitem CO₂ e devem ser substituídos pelos combustíveis fósseis no futuro (De Nevers, 2000).

Outros gases do efeito estufa como metano (CH₄), o principal componente do gás natural, é o segundo em importância. Na época pré-industrial, a atmosfera continha 0,7 ppm de metano. Nos últimos séculos, este valor aumentou para 1,7 ppm, com um aumento de 0,01 ppm/ano até os anos 90. A molécula de metano é 20 vezes mais forte na absorção do infravermelho do que a molécula de CO₂. As principais fontes de metano são provenientes de combustões incompletas, atividades agrárias, minas de carvão e distribuição de gás natural. Outro gás do efeito estufa importante é o óxido de nitrogênio (N₂O), que não é conhecido por nenhum efeito nocivo à saúde exceto pelo efeito estufa. A temperatura média da terra também pode ser alterada pelo aumento do conteúdo de partículas em suspensão na atmosfera. Porém os efeitos são pequenos devido ao curto espaço de tempo que as partículas permanecem na atmosfera comparando com os gases.

Um grande problema do efeito estufa é o seu caráter cumulativo. Uma grande quantidade de energia é armazenada nos oceanos, devido a sua grande capacidade térmica (cem vezes maior que a da atmosfera) e por cobrirem 71% da superfície da Terra, com uma profundidade média de 3800 m (Bureau of Meteorology, 2003). O sistema climático é, então, intensamente influenciado pelos processos que acontecem nos oceanos. Em longo prazo, devido à existência deste grande reservatório de energia, os oceanos podem ser responsáveis por causar um repentino aumento da

temperatura da atmosfera, mesmo se a concentração dos gases do efeito estufa permanecer constante ou até diminuir. As grandes trocas de calor e umidade entre a atmosfera e o oceano, como evaporação e precipitação entre diferentes regiões, possibilitam a variação da densidade dos oceanos. Essa variação da densidade é responsável pelo movimento circulatório que envolve a descida da água salina fria a altas latitudes e a subida da água tropical e subtropical, criando o chamado “cinturão oceânico”. Outra habilidade do oceano, particularmente no que envolve as mudanças no clima, é a capacidade de armazenar dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa e de trocá-los com a atmosfera.

3.1.2 A influência do homem no clima

O homem modificando o ambiente pode alterar a refletividade da superfície, a absorção de radiação, evaporação e a evapotranspiração⁽¹⁾, modificando o clima global e alterando o efeito estufa natural. A Ilha Urbana de Calor (UHI – Urban Heat Island) refere-se à observação de que as cidades e municípios tendem a ser mais quentes que a redondeza rural e reservas naturais (Bureau of Meteorology, 2003). O concreto e o asfalto do ambiente urbano tendem a reduzir a refletividade se comparados com o ambiente natural. Cidades também tendem a ter menos árvores, reduzindo o efeito refrescante das sombras e da evapotranspiração. A poluição tem efeito de aquecer as cidades, adicionado ao calor liberado dos processos industriais, aquecimento das casas e carros. Dependendo das condições do clima, temperaturas no centro das grandes cidades podem ser 10° C mais quente que os da redondeza rural. Observa-se também nas cidades a diminuição da velocidade média dos ventos e o aumento da frequência de alagamentos. O primeiro tem como causa o efeito bloqueador dos prédios e o segundo a redução da drenagem natural devido à quantidade de asfalto e concreto. Seis anos depois que o cientista Arrhenius calculou o calor adicional possivelmente esperado pelo aumento do dióxido de carbono na atmosfera (1895), o oceanógrafo e meteorologista americano Roger Revelle chamou atenção ao problema: “Nós estamos evaporando no ar, óleo, carvão e gás natural que acumularam na Terra nos últimos 500 milhões de anos. Isto irá causar, possivelmente, um profundo efeito no clima” (Bureau of Meteorology, 2003). Qualquer variação na concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, por efeitos naturais ou humanos, irá causar mudanças no balanço radiativo da atmosfera.

⁽¹⁾ [De evapo(ração) + transpiração] S. F. Ecol. O fenômeno combinado de evaporação da água do solo e das superfícies líquidas, e de transpiração dos vegetais (Ferreira, 1999)

3.2 Desenvolvimentos internacionais das questões climáticas

As múltiplas preocupações sobre os irreversíveis efeitos das mudanças climáticas como resultado das atividades humanas tem intrigado as comunidades científicas desde a década de 50, fundamentado nas seguintes considerações:

- A queima de combustíveis fósseis desde a Revolução Industrial proporcionou o aumento da formação de dióxido de carbono na atmosfera;
- Argumentos físicos simples sugerem que o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera aumenta o aquecimento da superfície.

Estas questões acima atraíram a atenção dos governantes na observação do dióxido de carbono. A primeira Conferência Climática Mundial (FWCC – First World Climate Conference) conveniada pela Organização Mundial Meteorológica (WMO – World Meteorological Organization), em fevereiro de 1979, foi idealizada para examinar as questões climáticas. As recomendações do FWCC estabeleceram uma coordenação internacional científica para monitorar, entender e prever o clima e as mudanças climáticas. Nos anos 80, o aumento das evidências científicas da contribuição das atividades humanas no aumento da concentração dos gases do efeito estufa levou ao aumento da preocupação internacional com as possibilidades da mudança climática global.

Em 1988 foi estabelecido o Painel Internacional das Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Changes), patrocinado pela WMO e UNEP (United Nations Environment Programme – Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas), em resposta às crescentes preocupações e incertezas entre os governantes sobre as implicações das mudanças climáticas. O IPCC é formado por um corpo científico e técnico com a principal tarefa de providenciar um relatório sobre as mudanças climáticas, baseado em pesquisa e investigação, sob competência do WCP (World Climate Programme – Programa Climático Mundial) e outros relevantes programas internacionais. O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC (FAR – First Assessment Report) foi aprovado em agosto de 1990 e providenciou as principais bases científicas para Declaração Ministerial da Segunda Conferência Mundial do Clima e subsequente estabelecimento do Comitê de Negociação Intergovernamental (INC – Intergovernmental Negotiating Committee).

Em 1990, sob recomendação do IPCC, as Nações Unidas adotaram a resolução que estabeleceu um comitê (INC) para preparar uma convenção específica. Em 09 de maio de 1992, foi adotada a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change). Em junho foi aberta a assinatura na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a chamada "Cúpula da Terra", no Rio de Janeiro. A Convenção entrou em vigor no dia 21 de março de 1994, hoje, fazendo parte 192 países (UNFCCC, 2008). O artigo 2 da convenção expressa seu objetivo principal: “estabilização da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera a níveis que previne os efeitos nocivos que interferem no sistema climático. Tal nível deve ser atingido dentro de um período suficiente que permita o ecossistema a se adaptar naturalmente às mudanças climáticas, assegurar a produção de alimento e permitir o desenvolvimento econômico de maneira sustentável.”

As Partes, representantes dos países signatários da UNFCCC, reúnem-se anualmente na Conferência das Partes (COP) para rever a implementação da Convenção e dar continuidade às discussões sobre a melhor forma de tratar a mudança do clima. A Convenção determina que os países desenvolvidos devam tomar iniciativa no combate à mudança do clima, assumindo os primeiros compromissos, uma vez que historicamente são os grandes poluidores e apresentam maior capacidade econômica para suportar tais custos. Com base neste princípio, foram estabelecidos dois grupos de países: os listados no seu Anexo I (conhecidos como "Partes do Anexo I") e os que não são listados nesse anexo (as chamadas "Partes não-Anexo I"). Os países listados no Anexo I são os seguintes: **Alemanha**, **Austrália**, **Áustria**, Belarus, **Bélgica**, Bulgária, **Canadá**, **Comunidade Européia**, Croácia, **Dinamarca**, Eslováquia, Eslovênia, **Espanha**, **Estados Unidos da América**, Estônia, Federação Russa, **Finlândia**, **França**, **Grécia**, Hungria, **Irlanda**, **Islândia**, **Itália**, **Japão**, Letônia, **Liechtenstein**, Lituânia, **Luxemburgo**, **Mônaco**, **Noruega**, **Nova Zelândia**, **Países Baixos**, Polônia, **Portugal**, **Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte**, República Tcheca, **Romênia**, **Suécia**, **Suíça**, **Turquia***, Ucrânia. Os países em negrito também fazem parte do Anexo II e os países classificados como EITs (economias em transição) estão sublinhados. Os países acrescentados ao Anexo I na COP 3, em 1997, estão em itálico e o asterisco (*) indica os países que ainda não ratificaram a Convenção. Os outros países que formam o

grupo das Partes não-Anexo I devem relatar, em termos mais gerais, as suas ações para tratar da mudança do clima e adaptar-se aos seus efeitos. O prazo para a submissão de suas metas é menos rígido e está condicionado ao recebimento de financiamento do mecanismo financeiro da Convenção, operado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (Bureau of Meteorology, 2003).

A sequência de reuniões da Conferência das Partes (COP) e suas principais contribuições estão descritas a seguir:

COP 1 – Ocorreu em Berlim, Alemanha, de 28 de março a 7 de abril de 1995. Foi acordado o Mandato de Berlim, na qual seriam estipulados limites de emissão dos GEE, revendo os compromissos anteriormente assumidos.

COP 2 – Ocorreu em Genebra, Suíça, de 9 a 19 de julho de 1996. Assinada a declaração de Genebra, contemplando um acordo para a criação de obrigações legais com vista na redução dos GEE. Nesta conferência foi apresentado o segundo relatório de avaliação do IPCC (SAR – Second Assessment Report), mais abrangente que o anterior.

COP 3 – Ocorreu em Quioto, Japão, de 1 a 10 de dezembro de 1997. Foi estabelecido o Protocolo de Quioto, com a presença de mais de 160 países. Tal protocolo estabelece compromissos de redução de pelo menos 5% dos GEE para os países do Anexo I.

COP 4 – Ocorreu em Buenos Aires, Argentina, de 2 a 13 de novembro de 1998. Foi estabelecido o Plano de Ação de Buenos Aires, com o objetivo de criar um cronograma para o acordo acerca das regras operacionais do Protocolo de Quioto.

COP 5 – Ocorreu em Bonn, Alemanha, de 25 de outubro a 5 de novembro de 1999. Houve reuniões técnicas conforme andamento do Plano de Ação de Buenos Aires.

COP 6 – Ocorreu em Haia, Holanda, de 13 a 18 de novembro de 2000. Não houve consenso e a conferência foi suspensa. Os Estados Unidos negaram-se a aderir ao Protocolo alegando ser prejudicial à economia do país.

COP 6 ½ - Ocorreu em Bonn, Alemanha, de 16 a 27 de julho de 2001. Finalizaram elementos importantes expressos no Plano de Ação de Buenos Aires e se chegou mais próximo à ratificação do Protocolo, mesmo sem apoio dos EUA.

COP 7 – Ocorreu em Marrakesh, Marrocos, de 29 de outubro a 9 de novembro 2001. Foram finalizados os itens pendentes do Plano de Ação de Buenos Aires e estabelecidas as regras operacionais para ratificação do Protocolo. Foi criado o Comitê Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que aprovará metodologias, planos de monitoramento, credenciará entidades operacionais e manterá registro dos projetos MDL.

COP 8 – Ocorreu em Nova Deli, Índia, de 23 de outubro a 1º de novembro de 2002. Foi reconhecida a necessidade de cortar emissões para atender os objetivos da Convenção, como resposta ao terceiro relatório de avaliação (TAR – Third Assessment Report) terminado em dezembro de 2001.

COP 9 – Ocorreu em Milão, Itália, de 1 a 12 de dezembro de 2003. Um dos principais acontecimentos foi a definição das regras de inclusão dos projetos de reflorestamento e florestamento no MDL.

COP 10 – Ocorreu em Buenos Aires, Argentina, de 6 a 17 de dezembro de 2004. Marcou o 10º aniversário da Convenção. Foram incorporados as modalidades e procedimentos de reflorestamento e florestamento nas atividades do MDL, além de incluir a modalidade simplificada para os projetos de pequena escala.

COP 11 – Ocorreu em Montreal, Canadá, de 28 de novembro a 9 de dezembro de 2005. Primeira Convenção após a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em 16 de fevereiro de 2005, após a ratificação da Rússia. Com a entrada da Rússia, foi atendida a condição de “55% das emissões em 1990 das Partes incluídas no Anexo I” para entrada em vigor do Protocolo. Aconteceu em paralelo com a Primeira Reunião das Partes para o Protocolo de Quioto (CPM 1). Finalizou com a adoção de mais de quarenta decisões de esforços para combater as mudanças climáticas.

COP 12 – Ocorreu em Nairobi, Quênia, de 6 a 17 de novembro de 2006. Aconteceu em conjunto com a CPM 2, com a reafirmação e definições das partes do Protocolo.

COP 13 – Ocorreu em Bali, Indonésia, de 3 a 14 de dezembro de 2007. Foi acordado o “Bali Roadmap”, que consiste na definição dos próximos passos para um acordo internacional para o final do primeiro período do Protocolo de Quioto, que termina em 2012. O objetivo é concluir o novo acordo em 2009, permitindo tempo suficiente para ratificação e evitar uma lacuna entre o final de um e o início de outro. A

transferência de tecnologia e redução de emissão de desflorestamento (REDD – Reducing emissions from deforestation in developing countries) foram assuntos chaves em Bali. A Convenção foi realizada no âmbito do quarto relatório de avaliação do IPCC (AR4 – Fourth Assessment Report), emitido completo em 17 de novembro de 2007 (IPCC, 2007).

3.2.1 Protocolo de Quioto

No Protocolo de Quioto, as Partes do Anexo I comprometem-se com metas individuais e com vinculação legal de limitação ou redução de suas emissões de gases de efeito estufa, que representam um corte total de pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990, no período de 2008-2012. As metas individuais para as Partes do Anexo I são listadas no Anexo B do Protocolo (MCT, 2008) e variam de uma redução de 8% para a União Européia e vários outros países, para um aumento de 10% para a Islândia. Embora estejam listados no Anexo I da Convenção, Belarus e Turquia não constam no Anexo B do Protocolo, porque não eram Partes da Convenção quando o Protocolo foi adotado. De acordo com a Convenção, os países do Anexo I e os países não-Anexo I têm diferentes obrigações em relação à mudança do clima. A própria Convenção reconhece que uma parcela das emissões globais originárias dos países em desenvolvimento crescerá para que eles possam satisfazer suas necessidades sociais e econômicas. Em muitos desses países, as emissões podem aumentar em consequência das políticas de redução da pobreza, como, por exemplo, levar eletricidade às áreas rurais ou remotas. Além disso, a situação nos países desenvolvidos, que já satisfizeram as necessidades básicas das suas populações, é diferente: em muitos deles, uma fonte importante de emissões se deve ao consumo supérfluo e não-sustentável. As metas cobrem as emissões dos seis principais gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); hidrofluorcarbonos (HFCs); perfluorcarbonos (PFCs); hexafluoreto de enxofre (SF₆).

O Protocolo também estabelece três "mecanismos" inovadores, conhecidos como implementação conjunta, comércio de emissões e mecanismo de desenvolvimento limpo, criados para auxiliar as Partes do Anexo I a reduzir os custos de cumprimento das suas metas de redução de emissões. A Implementação Conjunta (Joint Implementation – JI), corresponde ao artigo 6º do Protocolo (Scarpinella – 2002), onde qualquer Parte inclusa no Anexo I pode transferir ou adquirir entre outra destas Partes

unidades de redução de emissão. O Comércio de Emissões (Emission Trade – ET) corresponde ao artigo 3º do Protocolo, que estabelece a comercialização de créditos entre os países do Anexo I. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL ou Clean Development Mechanism – CDM) constitui o artigo 12º do Protocolo, que visa auxiliar os países em desenvolvimento a atingir o desenvolvimento sustentável pela promoção, por parte dos governos e das empresas de países do Anexo I, de investimentos ambientalmente saudáveis nesses países.

O Protocolo de Quioto foi aberto a assinaturas entre 16 de março de 1998 e 15 de março de 1999. Oitenta e quatro países assinaram o Protocolo durante esse período, incluindo todas as Partes do Anexo I, menos duas, o que indica a aceitação do texto e a intenção de tornarem-se Partes dele. O Protocolo de Quioto entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005 com a ratificação da Rússia, e satisfação da cláusula de “55% das emissões de CO₂ ocorridos em 1990 das partes inclusas no Anexo I”. Atualmente, após a COP13, o Protocolo de Quioto tem 176 membros (UNFCCC, 2008 – Press Release COP13).

Os Estados Unidos da América negaram-se a ratificar o Protocolo de Quioto, pois, de acordo com a alegação do presidente George W. Bush, os compromissos acarretados pelo mesmo interfeririam negativamente na economia norte-americana. A Casa Branca também questiona a teoria de que os poluentes emitidos pelo homem causem a elevação da temperatura da Terra. Mesmo o governo dos Estados Unidos não assinando o Protocolo de Quioto, alguns municípios, Estados (Califórnia) e donos de indústrias do nordeste dos Estados Unidos já começaram a pesquisar maneiras para reduzir a emissão de gases tóxicos, tentando, por sua vez, não diminuir sua margem de lucro com essa atitude.

3.2.2 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

Como o Protocolo de Quioto consiste na possibilidade de utilização de mecanismos de mercado para que os países desenvolvidos possam atingir os objetivos de redução de gases de efeito estufa, o que interessa para o caso do Brasil é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL. O MDL é o único mecanismo que admite a participação voluntária de países em desenvolvimento, permitindo a certificação de projetos de redução de emissões destes países e a posterior venda das reduções certificadas de emissão, para serem utilizadas pelos países desenvolvidos

como modo suplementar para cumprirem suas metas. Esse mecanismo deve implicar em reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima. Para que um projeto resulte em reduções certificadas de emissões, as atividades de projeto do MDL devem, necessariamente, passar pelas etapas do ciclo do projeto, que são sete: elaboração de documento de concepção de projeto (DCP), usando metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados; validação, que verifica se o projeto está em conformidade com a regulamentação do Protocolo de Quioto; aprovação pela Autoridade Nacional Designada – AND, que no caso do Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima - CIMGC (verifica a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável); submissão ao Conselho Executivo para registro; monitoramento; verificação/certificação; e emissão do certificados de emissões reduzidas (CERs). O CERs é a forma de comercialização do carbono retido, sendo emitido pelo Comitê Executivo e corresponde a 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente. Com o objetivo de agilizar o processo de análise das atividades de projeto, foi elaborado o "Manual para Submissão de Projetos de MDL para aprovação da Comissão Interministerial de Mudanças Global do Clima" que se encontra no site do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2008).

A CIMGC foi criada no Brasil, em julho de 1999, com finalidade de articular as ações do governo decorrentes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima. A apreciação e aprovação das atividades de projetos do MDL ficam sendo desta Comissão, que é composta pelos Ministérios de Ciência e Tecnologia, Relações Exteriores, Meio Ambiente, Minas e Energia, Agricultura e Abastecimento, Transportes, Orçamento e Gestão, Desenvolvimento, Indústria e Comércio, Projetos Especiais e Casa Civil. O Brasil poderá se beneficiar do MDL tanto com projetos nos setores energéticos, como de transporte e florestal.

As atividades do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (Land Use, Land Use Change and Forestry – LULUCF), ou seja, atividades de florestamento, desflorestamento e reflorestamento, que emitem ou removem dióxido de carbono da atmosfera, estão presentes no Protocolo. Os chamados "sumidouros" sempre foram motivos para controvérsia. A metodologia para as atividades de florestamento e reflorestamento foi regulamentada no COP 9. As atividades do LULUCF podem ser

empregadas somente em terras que desde de 31 de dezembro de 1989, sejam pastagens ou terras abandonadas, sem presença de florestas, para fim de contabilização no MDL.

Em 20 de julho de 1999, foi criado o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial (PCF – Prototype Carbon Fund) pelos diretores do Banco, com o objetivo de promover o princípio de desenvolvimento sustentável, possibilitando as parcerias público-privadas e ofertando oportunidades aos grupos de interesse através do processo *learning-by-doing* (Andrade, 2003). O PCF investe em contribuições realizadas por companhias e governos em projetos desenhados para produzir reduções de emissão totalmente consistentes com o Protocolo de Quioto e a estrutura do JI e MDL. O PCF financia a redução de emissões de GEE também com o intuito de acelerar a criação de um mercado para as atividades de mitigação das mudanças climáticas.

O maior poluidor do mundo, apesar de estar fora do principal acordo multilateral para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, foi o primeiro a criar uma bolsa de venda de créditos de carbono. Em dezembro de 2003, 14 empresas, que juntas são responsáveis por metade da emissão anual do Reino Unido, fundaram a Bolsa do Clima de Chicago (CCX), na tentativa de criar um mercado de carbono próprio e alternativo ao Protocolo de Quioto. Na primeira fase, até 2006, a CCX apenas organizou a comercialização de redução de emissões de gases do efeito estufa nos Estados Unidos, México, Canadá, e de um primeiro projeto de compensação brasileiro – da Indústria de Papel e Celulose Klabin. A empresa mantém um projeto de reflorestamento em uma área de 10 mil hectares. A CCX é uma plataforma auto-reguladora, designada e governada por seus membros, que estabelece as regras deste mercado, define linhas de base, estabelece o foco de emissões (além de monitorar as emissões), define quais créditos são elegíveis e desenvolve leilões (Carbono Brasil, 2008). Conforme mostrado na figura 2, o mercado de carbono em termos de preço e volume negociados no CCX ficou em torno de US\$4,00/t de CO₂, ultrapassando 20.000 t de CO₂ negociados em 2007 (CCX, 2007).

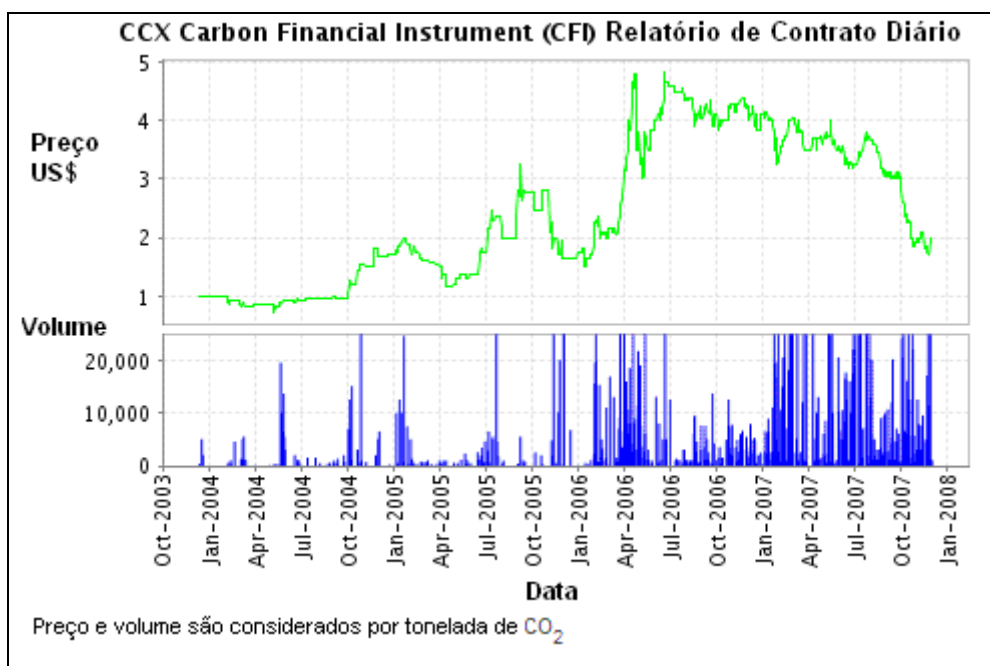


Figura 2 – Preço e Volume de carbono negociado no CCX
Fonte: CCX, 2007

3.2.3 Relatórios de avaliação do IPCC

O Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC (FAR – First Assessment Report) foi aprovado em agosto de 1990, sendo publicado em três volumes: Avaliação Científica das Mudanças Climáticas (Grupo de Trabalho I), Avaliação dos Impactos das Mudanças Climáticas (Grupo de Trabalho II) e Estratégias do IPCC (Grupo de trabalho III). O Segundo Relatório de Avaliação do IPCC (SAR – Second Assessment Report) foi aprovado em 1995, contendo a avaliação dos três grupos, divididos agora em: A Ciência das Mudanças do Clima (Grupo I), Impactos, Adaptações e Mitigação da Mudança do Clima – Análise técnico-científica (Grupo II) e Dimensões Econômicas e Sociais da Mudança do Clima (Grupo III).

As avaliações dos grupos no Terceiro Relatório de Avaliação (TAR – Third Assessment Report) foram apresentadas em dezembro de 2001. As principais conclusões dos relatórios do Grupo de Trabalho I (as Bases Científicas), Grupo de Trabalho II (Impactos, Adaptações e Vulnerabilidade) e do Grupo III (Mitigação) sobre as observações das mudanças climáticas deixam claro que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos foi devido à elevação da concentração dos gases do efeito estufa, que contribuiu com o aumento do nível dos oceanos, através da expansão térmica da água do mar e do derretimento do gelo da crosta terrestre. Foi apresentado no

TAR, o Relatório Especial nos Cenários de Emissão, aprovado em 2000, que descreve o futuro em quatro possíveis cenários:

- A1 – rápido crescimento econômico, com a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. O crescimento populacional tem um pico na metade do século e depois começa a decrescer. O grupo A1 pode ter ênfase nos combustíveis fósseis (A1FI), não fósseis (A1T) e o balanço das duas (A1B);
- A2 – um mundo heterogêneo, contínuo aumento da população, porém com sua identidade e desenvolvimento econômico regulado regionalmente;
- B1 – um mundo convergente com a mesma população global de A1, porém baseado na informação e redução da intensidade de material, uso de fontes limpas e tecnologias eficientes;
- B2 – Um mundo com ênfase em soluções locais para economia, social e sustentável, aumento da população conforme A2 e desenvolvimento intermediário, porém com base na proteção ambiental.

Utilizando modelos das mudanças climáticas, o IPCC TAR demonstrou a resposta projetada para o sistema climático nos vários cenários. Com base nos modelos desenvolvidos, o TAR indicou que a temperatura média global projetada irá crescer em 1,4° C a 5,8° C no período de 1990 a 2100. Esta temperatura é maior que a projetada no SAR que era de 1,7° C a 4,2° C. Este aumento da temperatura será o mais alto visto nos últimos 1000 anos. É esperado, que no século vinte e um, o verão seja mais rigoroso, com temperaturas extremas, o inverno tenha menos extremos de baixas temperaturas, além de intensos períodos chuvosos em várias regiões. Foi previsto que o nível do mar irá aumentar em 0,09 a 0,8 dependendo dos cenários. Uma importante constatação do TAR foi que após a estabilização dos gases do efeito estufa, as temperaturas e o nível do mar irão continuar a subir durante séculos. Os efeitos, em longo prazo, são os relacionados aos oceanos, com derretimento de camadas de gelo e conseqüente aumento do nível do mar. É importante destacar que o TAR demonstra pouca informação do clima futuro a nível regional. As modificações provavelmente não ocorrerão igualmente em todas as regiões do globo (Bureau of Meteorology, 2003). O Quarto Relatório de

Avaliação do IPCC (AR4 – Fourth Assessment Report) foi apresentado em novembro de 2007, contendo o relatório dos três grupos e o relatório síntese.

3.2.4 Principais resultados do AR4

A contribuição do Grupo I (IPCC AR4, 2007) foi apresentada em 6 de fevereiro de 2007, em Nairobi. Novos dados, mais sofisticados métodos de análise e de simulação dos processos físicos, e intensiva exploração dos dados ainda incertos aumentaram a confiança na ciência do clima. Porém, enquanto o relatório provém informações científicas para a compreensão das mudanças do clima, a complexidade do sistema climático e as múltiplas interações impõem limitações na habilidade de entender completamente o curso futuro do clima global na Terra. O relatório mostra claramente que a concentração dos gases do efeito estufa continua aumentando na atmosfera. O aumento do valor da concentração de CO₂ foi de 280 ppm, na época pré-industrial para 379 ppm, em 2005, responsável por uma força radiativa de $+1,6 \pm 0,17 \text{ Wm}^{-2}$. O aumento da concentração de CO₂ foi responsável por 20% do aumento da força radiativa da Terra, entre 1995 a 2005. Dois terços das emissões de CO₂ são provenientes de combustíveis fósseis e outra grande parte do uso da terra. Do dióxido de carbono emitido, 45% permanecem na atmosfera, 30% é absorvida pelos oceanos e o resto é utilizado na biosfera terrestre. Do CO₂ emitido, 50% é removido da atmosfera em 30 anos, 30% é removido em alguns séculos e 20% irá permanecer na atmosfera por milhares de anos. A média de crescimento da concentração de CO₂ foi de 1,9 ppm/ano entre 1995 a 2005, que é o maior crescimento de todos os tempos. O valor do crescimento era de $6,4 \pm 0,4 \text{ Gt}$ de carbono por ano em 1990 e cresceu para $7,2 \pm 0,3 \text{ Gt}$ de carbono por ano, entre 2000 a 2005. A concentração de dióxido de carbono na superfície dos oceanos e na biosfera terrestre cresceu na maioria das regiões, influenciada pelo aumento de CO₂ na atmosfera. Os efeitos diretos, em longo prazo, da absorção do CO₂ na biosfera, devido o aumento da concentração de CO₂, não pôde ainda ser quantificado (IPCC, 2007).

O metano (CH₄), outro gás do efeito estufa, teve sua concentração dobrada do valor da era pré-industrial, para 1774 ppb em 2005. A taxa de crescimento, que era de 1% entre 1970 a 1980, foi reduzida para praticamente zero entre 1999 a 2005. O CH₄ contribui com uma força radiativa de $+0,48 \pm 0,05 \text{ Wm}^{-2}$. A concentração de N₂O em 2005 era de 319 ppb, quase 18% maior que no período pré-industrial, tendo um

crescimento de 0,8 ppb/ano nas últimas décadas e contribuiu com uma força radiativa de $+0,16 \pm 0,02 \text{ Wm}^{-2}$. Para o CFC, foi observado um decréscimo da emissão, depois do Protocolo de Montreal, além de se ter um decréscimo da concentração do CFC-11 e CFC-113, devido ao processo de remoção natural. Estes gases contribuem com $+0,35 \pm 0,03 \text{ Wm}^{-2}$ da força radiativa direta, sendo que o CFC-12 é o terceiro em importância como agente da força radiativa de longa vida. A concentração dos gases fluoritais (HFC, PFC, HF6) na atmosfera é pequena, porém teve um rápido crescimento nos últimos anos. A força radiativa total em 2005 era de $+0,017 \text{ Wm}^{-2}$. A força radiativa devido à destruição da camada de ozônio foi reavaliada para $-0,05 \pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}$ e está mais fraca que a apresentada no TAR. A grande destruição observada entre 80 e 90 não está ocorrendo mais, no entanto, a camada de ozônio global está ainda 4% abaixo dos valores anteriores aos anos 80. Não está claro se a recuperação da zona já se iniciou. A combinação de todos os tipos de aerossóis contribui com uma força radiativa de $-0,5 \pm 0,4 \text{ Wm}^{-2}$. As mudanças da cobertura da Terra aumentaram o albedo, contribuindo com uma força radiativa de $-0,2 \pm 0,2 \text{ Wm}^{-2}$. Os impactos do uso da terra têm um efeito maior localmente do que em escala global. Monitoramento da irradiação solar mostrou que em 11 anos a variação foi de 0,08%, menor que a apresentada no TAR. Os vulcões aumentam a concentração de aerossóis sulfatados e podem resfriar o clima globalmente por alguns anos. Em geral, com alto grau de confiança, as atividades humanas desde 1750 levam a uma força radiativa positiva de $+1,6 [+0,6 \text{ a } +2,4] \text{ Wm}^{-2}$. Evidências sugerem uma aproximada relação linear entre a força radiativa média global e a resposta à temperatura média global da superfície. Observações e modelos indicam que modificação no fluxo radiativo da Terra afeta o ciclo hidrológico mais fortemente que os outros ciclos (IPCC, 2007).

Observações nas mudanças do clima mostram que os anos de 1998 e 2005 foram os anos mais quentes registrados desde 1850. O El-Niño estava presente em 1998, mas não em 2005. A média global da temperatura da superfície da Terra tem aumentado especialmente desde 1950. Os novos dados dos últimos 100 anos (1906-2005) mostram aumento de temperatura de $0,74 \pm 0,18^\circ \text{ C}$, maiores que o valor apresentado pelo TAR de $0,6 \pm 0,2^\circ \text{ C}$ (1901-2001). A taxa de crescimento da temperatura nos últimos 50 anos foi de $0,13 \pm 0,03^\circ \text{ C}$ por década. A temperatura do dia e da noite tem crescido quase na mesma taxa. Medidas de satélites mostram uma taxa de

crescimento da temperatura da troposfera. Sondas estimam que a temperatura da estratosfera resfriou entre 0,3° C e 0,6° C por década desde 1979. A temperatura da superfície da parte terrestre aqueceu a uma taxa mais rápida que os oceanos em ambos os hemisférios (0,27° C e 0,13° C por década respectivamente). Os maiores aumentos de temperatura aconteceram no hemisfério Norte. A temperatura do ártico aumentou quase que duas vezes mais que a taxa de aumento no resto do mundo nos últimos 100 anos. Os climas regionais podem ser bem diferentes da média global. Houve redução de dias gelados nas regiões de latitude média, aumento do número de extremos de calor e a redução do número de extremos de frio. Ondas de calor aumentaram sua duração na última metade do século 21 (IPCC, 2007).

Vapor de água da troposfera aumentou, implicando em aumento da umidade e disponibilidade para precipitação. A quantidade de chuvas aumentou em parte da América do Norte e Sul, norte da Europa e Ásia. Substancial aumento de eventos de chuvas fortes foram observados. Eventos de secas foram intensificados no sul da África, Ásia Mediterrânea e áreas tropicais do Atlântico Norte. As coberturas de neve reduziram na maior parte das regiões, especialmente na primavera. A extensão de gelo no mar do ártico diminuiu em aproximadamente $2,7 \pm 0,6\%$ por década, desde 1978, baseado em observações de satélites. Durante o século XX, coberturas de gelo e glaciais têm experimentado perda de massa, o que contribui para o aumento do nível do mar, que foi de $0,77 \pm 0,22$ mm por ano entre 1991 e 2003. A variação média global dos oceanos é também, em parte, devido à mudança de densidade, pela expansão térmica ou contração do volume dos oceanos, causada pela variação da temperatura. O aquecimento dos oceanos acontece desde 1955, contando com mais de 80% das variações do conteúdo energético do sistema climática da Terra. O aquecimento ocorre nas camadas de até 700 m de profundidade. Processos naturais de absorção do CO₂ pelos oceanos e pela terra removem 50 a 60% das emissões antropogênicas. Devido à absorção do carbono atmosférico desde 1750, o oceano se tornou mais ácido, com um decréscimo de pH da superfície de em média 0,1. A concentração de oxigênio decresceu e há evidências de mudanças na salinidade do oceano, podendo causar variações nos ciclos hidrológicos. Entre 1961 a 2003, a taxa global média de aumento do nível do mar foi estimada em $1,8 \pm 0,5$ mm por ano e $3,1 \pm 0,7$ mm por ano entre 1993 a 2003 (IPCC, 2007).

No AR4 (IPCC, 2007) foi mostrado que menos de 5% do aquecimento observado durante a metade do século podem ser explicados por forças naturais. A maior parte é atribuída às ações antropogênicas, ou ações do homem, causado principalmente pelo aumento das emissões dos gases do efeito estufa. Os efeitos poderiam ser maiores se não tivesse o efeito contrário, de abaixamento da temperatura, causado pelos aerossóis.

Desde o TAR avanços científicos importantes foram conseguidos para projetar as mudanças do clima. Os resultados de multi-modelos foram analisados por centenas de pesquisadores do mundo inteiro e formam a base para avaliação, a médio prazo. As projeções anteriores do IPCC podem agora ser comparadas com as observações reais recentes, aumentando a confiabilidade para futuras projeções, a curto prazo. As futuras mudanças do clima pré-determinadas pela composição atmosférica em 2000, correspondem a uma tendência de aumento de aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$ por década para as próximas duas décadas, em ausência de vulcões e forças solares. Os níveis dos oceanos continuam a aumentar nas próximas décadas, com valores de aproximadamente $1,3 \pm 0,7$ mm por ano para diferentes cenários. As variações permanecem mesmo se houvesse uma estabilização da composição da atmosfera, devido, principalmente, a inércia térmica dos oceanos e o tempo de vida dos gases na atmosfera. Podem ser vistas, na figura 3, as projeções para a temperatura média global até 2025, para os diferentes cenários e o aquecimento já comprometido, relativo às condições em 2000, comparado com os valores observados. As incertezas são maiores que no TAR, pois foram considerados modelos mais complexos, envolvendo mais processos da atmosfera como, por exemplo, o ciclo do carbono e sua absorção pela terra. A cobertura de neve irá diminuir para os diferentes cenários. O oceano ártico poderá perder a cobertura de gelo permanente. Há indicação que haverá um aumento e intensidade dos ciclones tropicais, uma tendência no aumento de eventos de chuvas fortes em várias regiões. Para todas as regiões continentais, o aumento da temperatura é maior que a média global. O modelo ainda tem muitas incertezas para as precipitações, principalmente nas regiões tropicais, porém, há tendência de regiões com aumento e outras com decréscimo da quantidade de chuvas. Os novos modelos, que incluem o ciclo do carbono e a troca de CO_2 com o oceano, a terra e a atmosfera, indicam que o aumento de CO_2 atmosférico provocará uma grande variação do clima, produzindo

também a acidificação da superfície dos oceanos, com redução do pH na ordem de 0,14 a 0,35, dependendo do cenário no século 21.

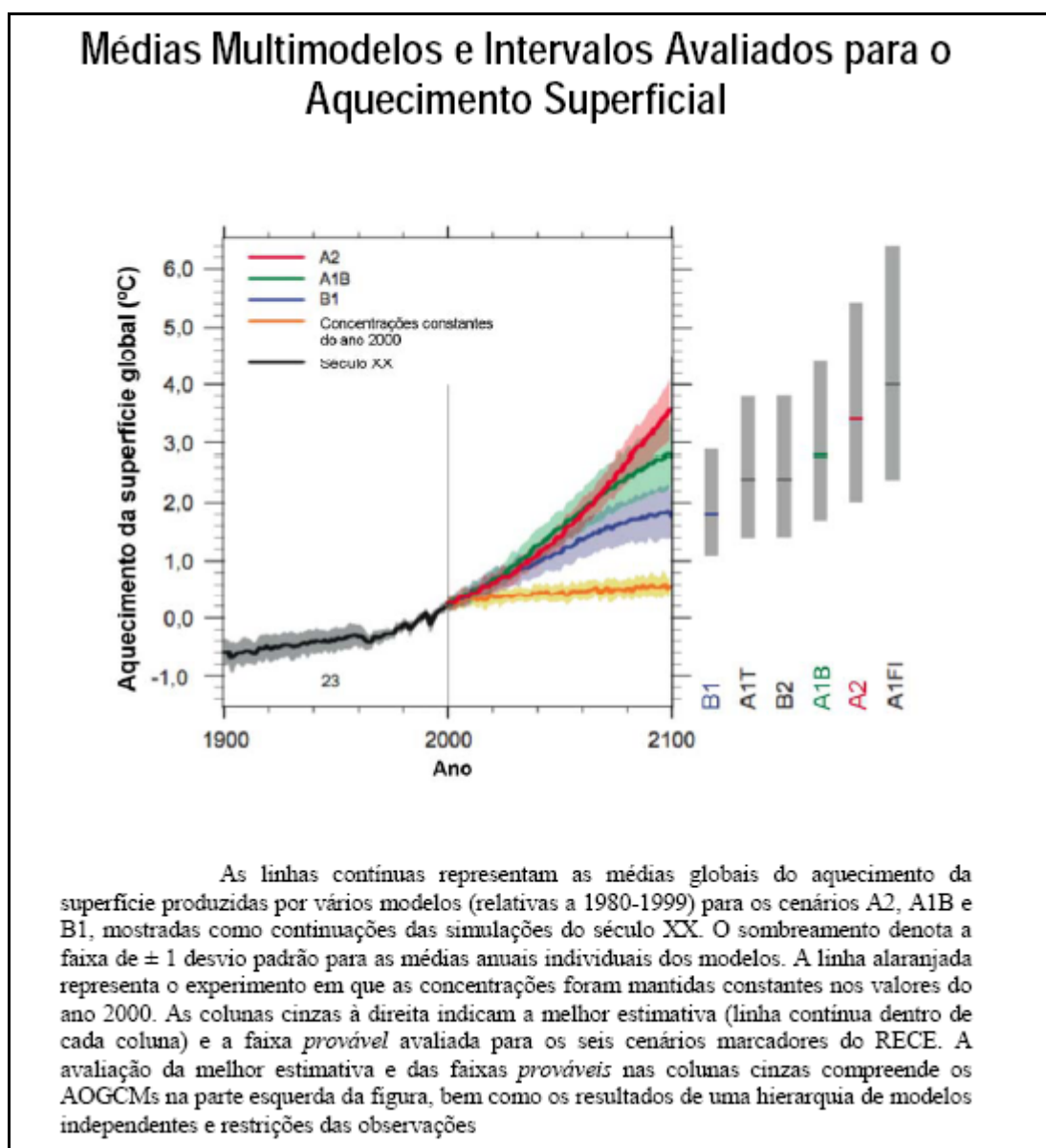


Figura 3 – Modelamento do aumento da temperatura para os diversos cenários.
Fonte: IPCC (AR4), 2007.

Enquanto o aquecimento causado pelo CO₂ tem efeito com duração de vários séculos, os aerossóis são removidos da atmosfera em apenas alguns dias. Os efeitos da força radiativa negativa causada pela emissão de aerossóis podem modificar rapidamente em resposta à redução de emissões de particulados. As mudanças climáticas já comprometidas, quando se considera a estabilização das concentrações dos gases do efeito estufa e aerossóis do ano de 2000, mostram uma expectativa de aumento da temperatura em torno de 0,5 a 0,6° C no ano de 2100. Se a força radiativa se

estabilizasse em 2100 na concentração do cenário A1B, a expansão térmica sozinha elevaria de 0,3 a 0,8 m o nível do mar em 2300.

O Relatório do Grupo II, aprovado em Bruxelas em 06 de abril de 2007, faz uma análise dos atuais conhecimentos científicos relacionados aos impactos das mudanças do clima na natureza, sistema humano e gerencial, capacidade destes sistemas se adaptarem e suas vulnerabilidades. O relatório conclui que, em todos os continentes e na maioria dos oceanos, os sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças do clima, principalmente devido ao aumento da temperatura. A seguir estão relacionados alguns dos importantes impactos da mudança do clima:

- Aumento da instabilidade de regiões congeladas permanentes, com avalanches nas regiões montanhosas;
- Variação nos ecossistemas do Ártico e da Antártica;
- Aumento do escoamento superficial e antecipação da descarga de pico durante a primavera em muitos rios alimentados por geleiras e neve;
- Aquecimento dos lagos e rios em muitas regiões, com modificações na estrutura térmica e na qualidade da água;
- Os recentes aquecimentos estão afetando os sistemas biológicos terrestres, incluindo adiamento da migração dos pássaros, desova, floração das árvores, etc.;
- Variação no sistema biológico aquático devido ao aumento da temperatura, modificação da cobertura de neve, salinidade, níveis de oxigênio e circulação das correntes, com conseqüente aumento de algas e plânctons em altas latitudes e altitudes, variação e adiamento da migração de peixes nos rios.

No relatório, são descritos os conhecimentos atuais sobre os futuros impactos conforme a seguir:

Fontes de água

Processos de adaptação e práticas de gerenciamento de risco se fazem necessário no setor de água, pois as condições de secas irão aumentar em certas regiões, além do aumento dos eventos de chuvas fortes com grandes inundações, redução da disponibilidade de água nas regiões com abastecimento de geleiras ou montanhas de neves, onde 1/6 da população atual vive.

Ecossistema

O risco de extinção das plantas e animais será aumentado em 20% a 30 %, quando a temperatura média global crescer em 1,5 a 2,5° C. Devido à progressiva acidificação dos oceanos, são esperados impactos negativos à formação de organismos marinhos, como corais e suas espécies dependentes (espécies formadoras de concha).

Alimentos e Produtos Florestais

Globalmente, a produção de alimentos é prevista para crescer, com o aumento da temperatura média entre 1° C a 3° C, porém, acima destes valores é previsto a diminuição da produção. Aumento das secas e enchentes terá um efeito negativo para a oferta da produção local. Globalmente, a produção de madeiras comerciais terá um crescimento modesto com a mudança do clima, com variação regional ao redor do mundo.

Sistema Costeiro

Para o sistema costeiro é previsto um aumento da exposição de risco, incluído erosão, causada pela variação do clima e aumento do nível do mar. Corais estarão mais vulneráveis aos extremos térmicos e tem baixa capacidade adaptativa. Milhões de povos serão inundados, devido ao aumento do nível do mar até 2080. Adaptações na costa serão mais difíceis nos países em desenvolvimento, do que nos países desenvolvidos.

Indústria e sociedade

A sociedade costeira é considerada a mais vulnerável, juntamente com populações ribeirinhas, sociedades pobres, dependentes do clima, concentradas nas áreas de risco e com maiores eventos de extremos de clima.

Saúde

A saúde de milhões de pessoas será afetada, especialmente nas populações com baixa capacidade adaptativa, com aumento dos casos de mal-nutrição, mortes, doenças. Entretanto, os estudos das áreas temperadas mostraram que a mudança do clima deve trazer alguns benefícios, como menos mortes por exposição ao frio.

Os impactos irão variar pela extensão da adaptação, taxa e variação da temperatura, além das condições sócio-econômicas. Impactos da mudança do clima irão variar regionalmente, com imposição de custos anuais, que irão crescer à medida que a temperatura média aumente. Valores dos custos econômicos dos danos das mudanças do

clima revistos e estimados como Custo Social do Carbono (SCC - Social Cost of Carbon), em 2005, tiveram média de US\$43,00 por tonelada de carbono equivalente, i.e. US\$12,00 por tonelada de CO₂. Porém, estes valores podem variar de 10 a 350 dólares dependendo da região. Esta grande variação é causada pela grande diferença nas suposições sobre a sensibilidade do clima, tempos de resposta, tratamento do risco e da equidade, impactos econômicos e não-econômicos, a inclusão de perdas potencialmente catastróficas e taxas de desconto. Os dados do prejuízo são subestimados, devido à exclusão dos impactos não quantificáveis. Algumas adaptações estão ocorrendo, e são observadas e projetadas para o futuro, porém em bases limitadas. As adaptações são necessárias para reduzir a vulnerabilidade às futuras mudanças no clima, porém há barreiras, limites e custos envolvidos. A vulnerabilidade das mudanças climáticas pode ser exacerbada pela presença de outros fatores negativos, como outros tipos de poluição, doenças como AIDS, etc.

Porém, conforme o relatório do Grupo II (IPCC, 2007), muitos impactos podem ser evitados, ou reduzidos, ou adiados pela mitigação. Mesmo os mais rigorosos esforços de redução não podem evitar alguns impactos nas próximas décadas, tornando a adaptação essencial, especialmente no curto prazo. A não redução das mudanças climáticas, em logo prazo, poderá exceder a capacidade natural e humana de adaptar-se. Este fato sugere uma estratégia mista que inclui a mitigação, adaptação, desenvolvimento tecnológico e de pesquisa.

O relatório do Grupo de Trabalho III aprovado na 9ª Sessão do IPCC em Bangkok, Tailândia, em 30 de abril de 2007 (IPCC, 2007), trata de aspectos científicos, tecnológicos, ambientais, econômicos e sociais de mitigação das mudanças climáticas. O crescimento da emissão global dos gases do efeito estufa teve origem principalmente do setor energético, seguido pelo transporte, indústria e agricultura. O relatório afirma que, com os sistemas atuais existentes de mitigação, a emissão global dos gases do efeito estufa irá continuar a crescer.

Mudanças no estilo de vida e no comportamento podem contribuir no processo de mitigação das mudanças climáticas, como aumento da educação, planejamento de transporte público, enfatizando sempre a conservação de recursos naturais. Novos investimentos em infra-estrutura nos países em desenvolvimento e melhoramento da infra-estrutura nos países industrializados, juntamente com políticas

que promovem energia limpa e segura, podem criar oportunidades na obtenção da redução dos gases do efeito estufa. A utilização da energia renovável que, em 2004, contava com 18% do total de fornecimento de energia, pode chegar a 30-35% em 2030, considerando o preço do carbono em até US\$ 50,00 por tonelada de CO₂ equivalente. Porém, o crescimento do preço dos combustíveis fósseis pode levar ao consumo de produtos de pior qualidade, i.e. óleos pesados, etc., possibilitando um aumento da emissão dos GEE.

A captura e armazenamento do dióxido de carbono é uma tecnologia com potencial para contribuir na mitigação em curto e médio prazo. Algumas opções de mitigação no setor de transporte incluem o desenvolvimento de veículos mais eficientes, utilização mais intensa de biocombustíveis (previsto um crescimento de 3% até 2030), aumento da utilização de transporte coletivo, combustíveis mais eficientes e aumento na utilização de transporte não motorizado, como bicicleta. Outra forma de reduzir a emissão de CO₂ engloba a construção civil, com projetos de prédios com melhor eficiência energética. Novas indústrias incluem, normalmente, as últimas e mais eficientes tecnologias para menor emissão, porém, as antigas e ineficientes instalações necessitam de reformas, que possibilitem a redução da emissão de forma significativa. O potencial de mitigação é maximizado com uma agricultura sustentável, com a redução do desflorestamento, aumento do reflorestamento, além do gerenciamento do lixo, que contribui atualmente com aproximadamente 5% das emissões dos GEE (IPCC, 2007).

O relatório do Grupo III afirma que esforços de mitigação nas próximas décadas terão um grande impacto para se atingir níveis mais baixos de estabilização (IPCC, 2007). Quanto menor o nível de estabilização de CO₂ (especialmente para 550 ppm ou menor), maiores os esforços necessários, com pesquisas mais eficientes e maiores custos de investimento. É necessário fazer um balanço entre os custos de investimentos da redução das emissões e dos efeitos causados, determinando assim, a escala de tempo e o nível apropriado de mitigação.

Uma grande variedade de instrumentos e políticas nacionais está disponível nos governos para incentivar ações de mitigação, cada um, com suas vantagens e desvantagens (eficiência, custo, efeito distribucional, igualdade e viabilidade). As políticas de implementação podem ser focadas nas políticas de desenvolvimento,

definições de regulamentos e padrões, impostos e cobranças, tratados e permissões, incentivos financeiros, acordos voluntários, como instrumento de informação e estímulo à pesquisa. Políticas que possibilitem um preço real ou implícito ao carbono podem criar incentivos para produtores e consumidores em investir na baixa emissão dos GEE e nos processos de tecnologia visando à mitigação. Estudos mostram que para uma estabilização do CO₂ equivalente a 550ppm em 2100, o preço do carbono será de US\$20 a US\$80 por tonelada de CO₂ equivalente em 2030 e de US\$30 a US\$115 por tonelada de CO₂ equivalente em 2050. O suporte do governo com contribuição financeira, créditos, impostos, padrões e criação de mercado será importante para o desenvolvimento efetivo da tecnologia, inovação e desenvolvimento (IPCC, 2007).

O CCS (Carbon Dioxide Capture and Storage – Captura e armazenagem de dióxido de carbono) foi objeto de um relatório especial (IPCC, 2007), sendo considerado uma opção para reduzir as emissões atmosféricas de CO₂, resultado das atividades humanas. O processo de captura e estocagem envolve a coleta, a concentração do CO₂ e o transporte para o depósito de armazenagem, permanecendo longe da atmosfera por um longo período de tempo. O CCS permitiria que combustíveis fósseis fossem utilizados com baixa emissão GEE. Porém, nenhum projeto ainda foi empregado em larga escala. A maioria das fontes de emissão tem menos de 15% de CO₂, sendo que apenas uma pequena porção de indústrias, menos de 2%, tem concentração de 95% de CO₂ no gás de descarga. O gás com baixa concentração poderia ser transportado e injetado no subsolo, porém, os custos de energia e outros associados tornariam o processo impraticável. Por isso, é importante produzir CO₂ quase puro para o transporte, sendo necessário um processo de separação.

São considerados para a estocagem geológica do CO₂ os reservatórios de óleo e gás, formações salinas profundas, camadas de carvão não mineráveis e injeção na coluna de água do oceano ou no fundo do mar. O risco de vazamentos, devido à armazenagem de CO₂ em reservas geológicas, recai em duas categorias: riscos globais e riscos locais. Os riscos globais envolvem a liberação de CO₂ na atmosfera, que pode contribuir significativamente com as mudanças climáticas se uma fração escapar dos reservatórios. Adicionalmente, se CO₂ vazar das reservas geológicas, prejuízos locais podem existir para os homens, ecossistema e água subterrânea. Outra possibilidade de armazenagem de CO₂ envolve a sua conversão em carbonato inorgânico sólido, ou a

utilização do CO₂ industrialmente, diretamente ou como matéria-prima para a produção de componentes contendo carbono. A rota de conversão em carbonato ainda não é industrialmente viável e atualmente a quantidade utilizada industrialmente é pequena, aproximadamente 120 MtCO₂ por ano, além de ter uma duração de armazenagem pequena (de dias a meses) (IPCC, 2007).

O custo do CCS não é integralmente conhecido para um sistema integrado, pois algumas etapas ainda não existem em escala industrial. Estudos para os diversos cenários mostram que o CCS participará com 15-55% dos esforços mundiais de mitigação em 2100, representando um armazenamento de 220-2.200 GTCO₂ (IPCCC, 2007).

3.3 Processo siderúrgico

3.3.1 Etapas de produção do aço

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica, na forma de minério de ferro. O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas, por exemplo, na siderurgia, usa-se como fonte de carbono o carvão mineral, e em alguns casos, o carvão vegetal. O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço: como combustível, permite alcançar altas temperaturas necessárias à fusão do minério; como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério, deixando o ferro livre. No alto-forno acontece a redução do minério. Antes de serem levados ao alto-forno, o minério e o carvão são previamente preparados para melhoria do rendimento e economia do processo. Devido ao aumento da quantidade de finos gerados nas minas foram desenvolvidos processos de aglomeração, que permitem a obtenção minério de ferro acima de determinadas dimensões (10 a 30 mm), para ser carregado no alto-forno. A sinterização emprega material abaixo de 10 mm e acima de 0,2 mm. O minério fino é misturado com quantidades precisamente dosadas do combustível sólido (coque, carvão), calcário e água para obter certa aglomeração. A mistura é depositada sobre uma grelha e a sua superfície levada à incandescência, enquanto se faz sucção de ar, através das camadas, resultando em uma zona de combustão. O resultado é um material poroso, que depois é quebrado no tamanho adequado e resfriado para ser utilizado no alto-forno. O outro processo de aglomeração é conhecido por pelletização,

que utiliza minério com 99% de tamanho inferior a 0,15 mm (100 mesh). A pelletização é um processo de aglomeração do minério de ferro sob a forma esférica. Os finos, depois de finamente moídos, colocados na umidade adequada e efetuado rolamento em tambores, discos ou cones, submetem-se a secagem e queima para consolidação. Devido ao tamanho dos finos, seu transporte se torna difícil, por isso, as instalações de pelletização são montadas, em geral, mais perto das minas, que das usinas consumidoras. O carvão é processado na coqueria e transforma-se em coque. No processo de redução, o ferro que se liquefaz é chamado de ferro-gusa. Impurezas como calcário, sílica etc. formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento. O ferro-gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado. Na etapa seguinte do processo, o ferro-gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante remoção de parte do carbono, juntamente com impurezas. O refino do aço é a etapa subsequente e acontece no forno panela, forno elétrico e/ou unidades de degaseificação a vácuo (RH), dentro da aciaria, onde ligas são adicionadas e impurezas adicionais são retiradas. O aço será solidificado no lingotamento contínuo, formando um produto semi-acabado como placas, lingotes, blocos e tarugos. Os semi-acabados são processados nos laminadores, onde acontece a deformação mecânica e a transformação em produtos siderúrgicos acabados, cuja nomenclatura depende de sua forma e/ou composição.

Segundo o IBS (2007), as usinas de aço podem ser classificadas segundo o processo produtivo e produtos da linha de produção.

Segundo o seu processo produtivo

- Integradas - que operam as fases básicas: redução, refino e laminação;
- Semi-integradas - que operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro-gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridas de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação.
- Não integradas - que operam apenas uma fase do processo: redução. Neste caso, estão os produtores independentes de ferro-gusa, os chamados “guseiros”, que têm como característica comum, o emprego de carvão vegetal em altos-fornos para redução do minério.

Na figura 4 (a/b/c) são mostrados esquemas simplificados dos três tipos de usinas de acordo com o processo produtivo.

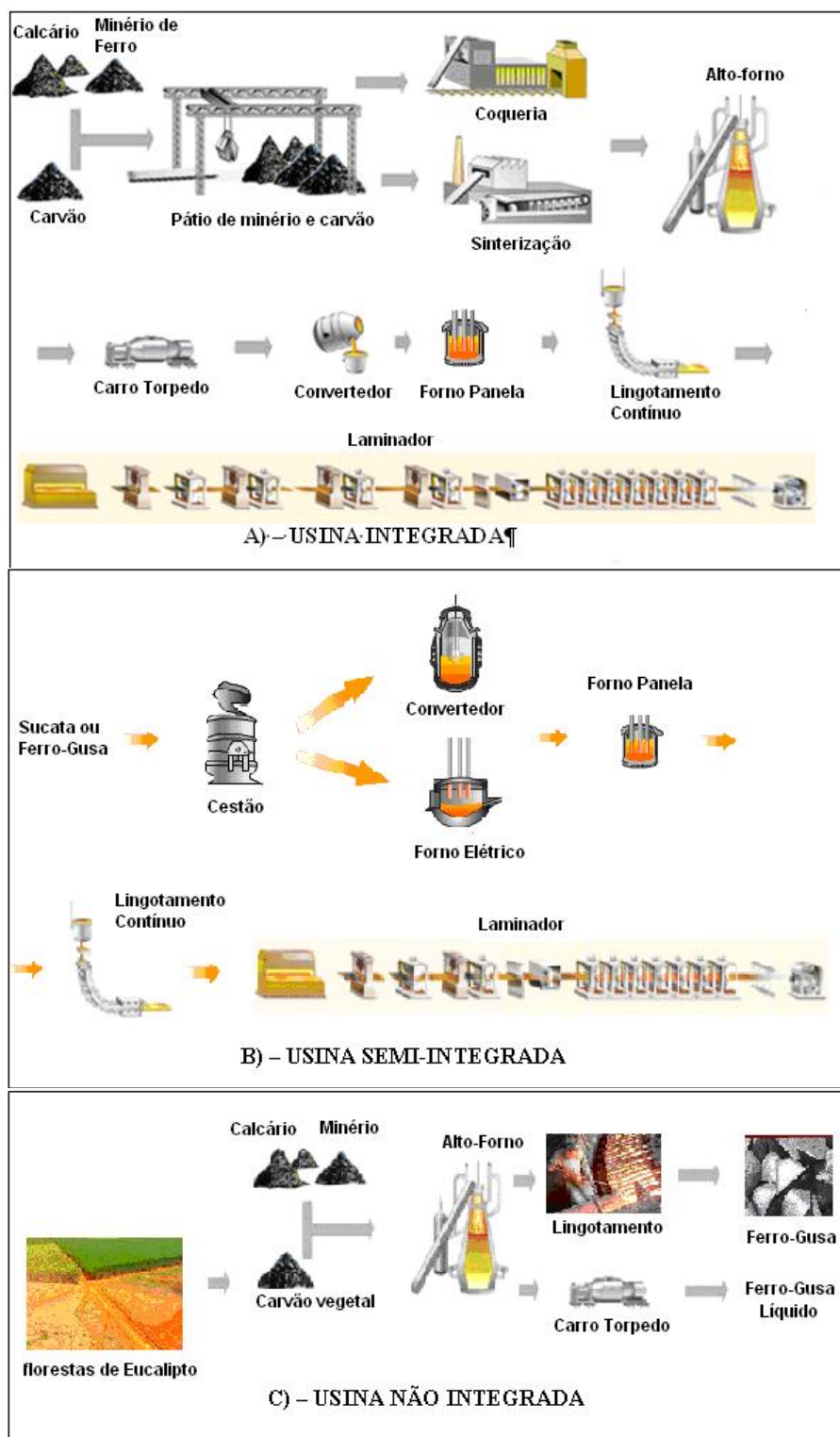


Figura 4 – Esquemático simplificado do fluxograma de produção de uma usina (a) integrada (b) semi-integrada (c) não-integrada.

Em função dos produtos que correspondem à linha de produção

- Usinas de semi-acabados (placas, blocos e tarugos);
- Usinas de planos aço carbono (chapas e bobinas);
- Usinas de planos aço especiais / ligados (chapas e bobinas);
- Usinas de longos aço carbono (barras, perfis, fio máquina, vergalhões, arames e tubos sem costura);
- Usinas de longos aço especiais / ligados (barras, fio-máquina, arames e tubos sem costura);

3.3.2 Produtos siderúrgicos

Segundo o IBS (2007), os produtos siderúrgicos podem ser classificados quanto ao tipo de aço e quanto à forma geométrica.

Quanto ao tipo de aço

Aço Carbono são aços ao carbono, ou com baixo teor de liga, de composição química definida em faixas amplas, como os aços utilizados na construção civil. Aços Ligados / Especiais são aços ligados ou de alto carbono, de composição química definida em estreitas faixas para todos os elementos e especificações rígidas, como, por exemplo, os aços utilizados na fabricação de ferramenta (IBS, 2007).

Quanto à forma geométrica

Os aços semi-acabados são os produtos provenientes do lingotamento contínuo ou de laminação de desbaste, destinados ao posterior processamento na laminação ou forjamento a quente. Seus produtos são as placas, blocos, lingotes e tarugos. Produtos planos são os produtos siderúrgicos, resultado de processo de laminação, cuja largura é extremamente superior à espessura, sendo comercializados na forma de chapas e bobinas de aço carbono e especiais. Produtos longos são produtos siderúrgicos, resultado de processo de laminação, cujas seções transversais têm formato poligonal e seu comprimento é extremamente superior à maior dimensão da seção. Como os produtos planos, os produtos longos são ofertados em aço carbono e especiais, sendo comercializados na forma de perfis, vergalhões, fio-máquina (para fabricação de arame, parafusos), barras e tubos (IBS, 2007).

3.3.3 O processo de produção de ferro-gusa em alto-forno

O processo foco deste estudo é o processo de redução para produção do ferro-gusa, que acontece nos altos-fornos. A obtenção do ferro-gusa se faz pela reação dos óxidos de ferro, Fe_2O_3 , por exemplo, com carbono e ar. As reações do carbono com o ar geram energia e CO para redução do Fe_2O_3 . Dois tipos de redutores podem ser utilizados: carvão vegetal ou coque. Os materiais carregados no alto-forno, minério de ferro, carvão vegetal ou coque, fundentes (quartzo, calcário, dolomita, etc.), transformam-se nos produtos gusa líquido, escória e gás de alto-forno. A redução dos óxidos de ferro se processa na medida em que a carga desce, no interior do alto-forno, e os gases, resultantes da reação com o carvão vegetal ou coque com o ar injetado nas ventaneiras, sobem. As principais reações químicas que se processam no alto-forno são (JACOMINO *et al*, 2002):



O alto-forno se divide nas seguintes partes (Araujo, 1997):

- Cadinho – região entre a soleira (base do alto-forno) e as ventaneiras;
- Rampa – parte cônica desde as ventaneiras;
- Ventre – parte vertical após a rampa;
- Cuba – parte cônica que se estreita para a goela;
- Goela – parte superior, final da carcaça;
- Topo – parte superior onde se localizam os dispositivos de carregamento.

Os altos-fornos possuem um sistema de refrigeração da carcaça externa, que pode ser constituída de chuveiros externos, placas de refrigeração ou *staves*. Os dois primeiros são mais comuns em altos-fornos de pequeno porte e os *staves* têm sido utilizados nos altos-fornos a coque, maiores, e que utilizam tecnologias mais modernas. Um alto-forno possui certo número de ventaneiras, que variam dependendo do tamanho do alto-forno, por onde o ar entra no interior do forno após ser pré-aquecido. O regenerador de calor é o equipamento utilizado para o pré-aquecimento do ar. Os *cowpers* são utilizados nos altos-fornos de grande porte. Nele o ar absorve o calor da camada de refratário, que se aquece devido à queima do gás de alto-forno com ar na câmara de combustão, chegando a atingir temperaturas de até 1250° C. Os *glendons* são

utilizados em altos-fornos a carvão vegetal e funcionam como trocadores de calor, onde o gás de alto-forno (GAF) e o ar queimam em uma câmara e, no outro sentido, em outra câmara, passa o ar a ser aquecido. A eficiência de troca é menor, atingindo até 900° C. O carregamento no alto-forno pode ser feito por um sistema de duplo cone ou pelo sistema *bell less* (topo sem cone) mais moderno, podendo ser alimentado por correias ou *skips* (caçambas puxadas por cabos que movem sobre linhas paralelas). Os gases do topo contêm CO (19 a 30%) e H₂ (3 a 7%), portanto, possuem um alto poder calorífico. Esse gás é aproveitado na planta para aquecimento do ar das ventaneiras e em outras áreas da usina. Para ser utilizado, esse gás deve ser limpo. O sistema básico de limpeza de gás de topo é composto de coletores de pó seco ou úmido, ciclones e lavadores de gás.

A estrutura interna do alto-forno só ficou bem conhecida com as experiências de dissecação conduzidas pelos russos e japoneses na década de 70. Estas experiências constaram do resfriamento e posterior dissecação de altos-fornos comerciais em condições normais de operação. O alto-forno foi então dividido em três zonas, resultado das observações (JACOMINO *et al.*, 2002), conforme mostrado na figura 5.

- Zona Granular – zona onde a carga metálica desce sólida em contracorrente com os gases;
- Zona de amolecimento e fusão – zona onde a carga metálica fica no estado de amolecimento, até a fusão completa;
- Zona de gotejamento – zona onde o metal e a escória escoam líquidos pelo empilhamento de coque ou carvão vegetal, conhecido como homem morto, em contracorrente com os gases provenientes da zona de combustão.

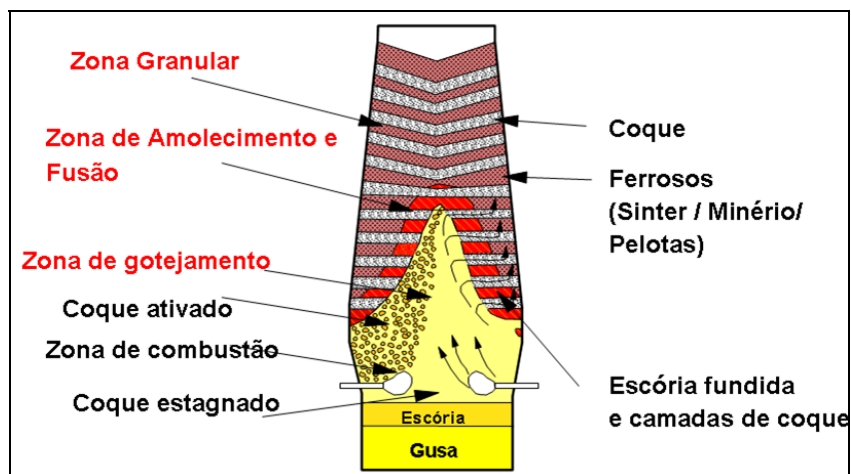


Figura 5 – Regiões internas no alto-forno

É importante ressaltar, que a zona de amolecimento e fusão tem um papel importante no processo, sendo nela que acontece a maior parte da redução, toda a fusão do metal e escória e grande parte da reação de gaseificação do carbono, além de ser a zona de maior perda de carga no alto-forno. A permeabilidade nesta zona é fundamental e é na camada de coque ou carvão vegetal, obtida pela distribuição de carga, que ocorre a passagem dos gases. O perfil de temperatura no alto-forno é mostrado na figura 6. Os gases saem da zona de combustão na temperatura de chama e, no topo, na temperatura em que a reação de gaseificação do carbono da carga cessa. A região intermediária é conhecida como zona de reserva térmica e a causa de sua existência é a reação de *solution loss*:



Esta reação química é muito endotérmica e tem alta energia de ativação, fazendo com que a reação ocorra a uma temperatura bem definida que é de 800° C para o carvão vegetal e 950° C para o coque. O regime de troca térmica do alto-forno permite a divisão em duas zonas distintas:

- Zona de preparação – onde o carbono não reage constituindo-se um material inerte;
- Zona de elaboração – onde o carbono reage com o CO₂, incorpora no gusa e reage com o oxigênio do ar na saída das ventaneiras.

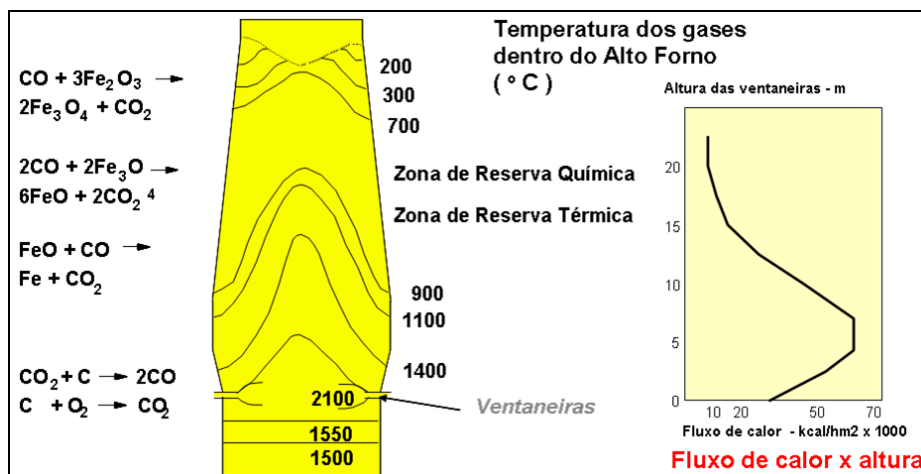


Figura 6 – Perfil de temperatura no alto-forno

É na zona de preparação que a carga é seca, pré-aquecida e pré-reduzida pelos gases, que se encontram a uma temperatura inferior à mínima necessária para que a reação de *solution loss* ocorra. Para minimizar o consumo de combustível é importante que seja transferido o máximo possível de oxigênio dos sólidos para os gases antes que a temperatura crítica seja atingida. A condição é considerada ideal quando toda hematita (Fe_2O_3) é reduzida a Wustita ($\text{FeO}_{1,05}$) antes de entrar na zona de elaboração. A eficiência do alto-forno e, conseqüentemente, o menor consumo de combustível são afetados por quatro fatores: contato gás-sólido na zona de preparação; qualidade da carga metálica; temperatura da zona de preparação; tempo de residência da carga metálica na zona de preparação. Estes fatores estão associados à distribuição, granulometria e qualidade (degradação e redutibilidade) da carga metálica (JACOMINO *et al*, 2002).

Quanto mais tempo a carga metálica se mantiver a altas temperaturas melhor. O coque apresenta vantagens, neste caso, pois a temperatura da zona de preparação é em torno de 950° C, enquanto, para o carvão vegetal é de 800° C. Um tempo de residência maior é obtido com termoredutor mais denso, que, novamente, coloca o coque favorável, por ser mais denso que o carvão vegetal. Qualquer entrada de calor na zona de elaboração diminui o consumo específico de combustível, como por exemplo, o aumento da temperatura do ar soprado. Outro fator importante a ser considerado é que, o gás do topo do alto-forno sempre terá CO em sua composição, porque o carbono, além de redutor, é o combustível do processo. Uma quantidade maior de carbono é necessária para gerar calor, do que para reduzir os óxidos de ferro. A

eficiência do alto-forno pode ser detectada pela composição e temperatura do gás do topo.

Os altos-fornos injetam finos de carvão mineral ou vegetal pelas ventaneiras para diminuição do consumo de coque e de carvão vegetal carregado no topo. Essa substituição não pode ser de 100%, pois o processo necessita de permeabilidade do leito de carvão ou coque. Os valores de substituição podem chegar a 250 kg/t de gusa. A granulometria utilizada é de no mínimo 80% abaixo de 200 mesh. A injeção de finos gera uma economia de coque ou carvão vegetal granulado, porém, também afeta algumas variáveis do processo (JACOMINO *et al*, 2002).

- A temperatura de chama diminui devido à entrada dos finos na temperatura ambiente.
- Diminuição da permeabilidade devido à diminuição do combustível granulado carregado.
- Porém, o nível térmico pode ser melhor controlado, pois, a correção do carbono necessário para manutenção da estabilidade se faz mais facilmente pelos finos injetados.
- Outros combustíveis também podem ser injetados como óleo, alcatrão, gás natural.

3.3.4 Processos alternativos

Dos processos de redução e fusão, o alto-forno é o mais utilizado no mundo, porém algumas alternativas têm surgido com o objetivo de flexibilizar o uso de matérias-primas, como por exemplo, utilização de finos de minério e ou a utilização direta do carvão mineral ao invés do coque, com vantagens ambientais consideráveis. O processo alternativo mais conhecido para a produção do gusa líquido é o COREX, com diversas unidades operando no mundo. Outros processos ainda em escala piloto ou em implantação são TecnoRed, Hismelt, Romelt, CCF. Na redução direta, o produto DRI (Direct Reduction Iron – ferro de redução direta) após ser compactado se torna o HBI (Hot Briquette Iron – Briquete quente) ou ferro-esponja sólido. O HBI ou ferro-esponja pode ser utilizado como substituto da sucata nos fornos elétricos, porém com menor condutividade térmica. Estes processos têm pequena participação no mercado global, porém, são importantes para algumas regiões como Oriente Médio, Venezuela e México, que tem grande disponibilidade de gás natural. Os processos de redução direta,

na sua maioria, necessitam do gás natural como combustível (JACOMINO *et al*, 2002). O processo mais conhecido de redução direta é o MIDREX. Outros processos de redução direta são HYL III, Iron Carbide, FINMET, FASTMET, CIRCOFER, PRIMUS.

3.4 Situação da Siderurgia no Brasil

Conforme o Anuário Estatístico 2007 do IBS, o Brasil produziu em 2006 30,9 milhões de toneladas de aço bruto, ocupando, neste período, a 10ª posição no mundo. Neste mesmo período, a produção mundial atingiu 1.243,8 milhões de toneladas de aço. Na figura 7 é mostrada a distribuição no mundo dos 16 países com maior produção de aço bruto em 2006. Já em 2007, segundo as estatísticas publicadas pelo IBS (2008), a produção brasileira teve um crescimento de 9,3% em relação a 2006, produzindo um total de 33,8 milhões de toneladas de aço bruto. A produção mundial teve um crescimento de 7,4%, com produção de 1.321,5 milhões de toneladas de aço. A China foi o país com maior crescimento na produção de aço bruto em 2007, com um aumento de 15,7%, produzindo 489,241 milhões de toneladas, comparado com os 422,989 milhões de toneladas produzidos em 2006.

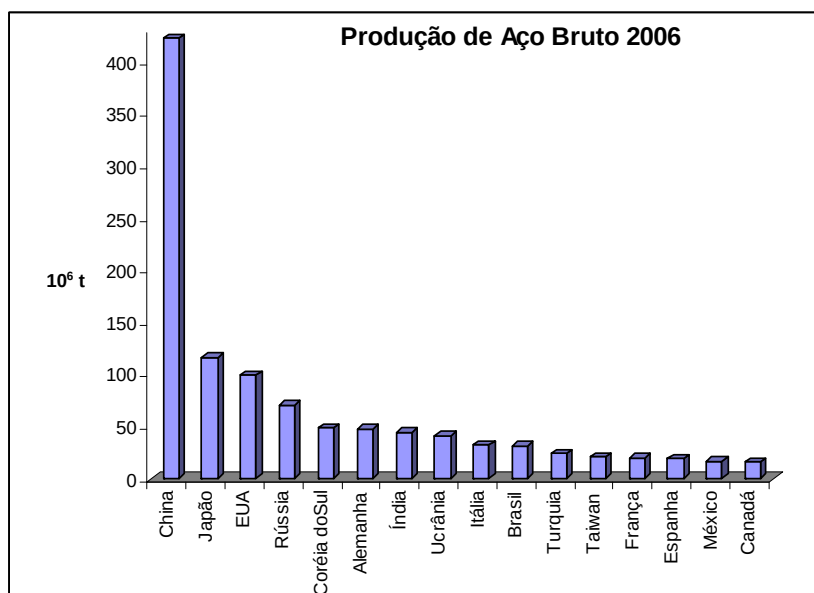


Figura 7 – Produção de aço bruto no mundo
Fonte: IBS - 2007

A produção de ferro-gusa no Brasil pode ser vista na tabela 2. A produção aumentou em 9,6% em 2007, impulsionado pelo setor integrado, que teve um crescimento de 12,9% na produção. O setor de fabricantes independentes teve um

crescimento modesto de 1,7%. É mostrado, também, na tabela 2, que 34% do ferro-gusa brasileiro produzindo em 2006 utilizou carvão-vegetal como redutor, ou seja, 11.176 mil toneladas do total de 32.452 mil toneladas produzidos.

Tabela 2 – Produção de ferro-gusa no Brasil

Produção de Ferro-gusa por Empresa / 10³t		
	2006	2007
Acesita - Arcelor Mittal	702	
Belgo - Arcelor Mittal	1.104	
CSN	3.345	
CST - Arcelor Mittal	5.094	
Gerdau	3.674	
USIMINAS/COSIPA	8.462	
V&M do Brasil	604	
Total das Usinas Integradas	22.985	25.943
Produtores Independentes	9.467	9.628
Total de Produção Brasileiro	32.452	35.571
Produção de Ferro-gusa por Redutor / 10³t		
	2006	2007
Carvão vegetal		
Usinas Integradas	1.709	
Produtores Independentes	9.467	
Coque		
Usinas Integradas	21.276	

Fonte: IBS (2007 e 2008)

As exportações de ferro-gusa em 2006 atingiram um patamar de 6,2 milhões de toneladas (US\$ 1,6 bilhão). Neste mesmo período, o total de exportação de produtos siderúrgicos (semi-acabado, planos, longos e transformados) foi de 12,5 milhões de toneladas (US\$ 6,9 bilhões), sendo os Estados Unidos o maior consumidor, com 22,5%, principalmente de semi-acabados. Das exportações de ferro-gusa, 68,9% também foram destinados aos Estados Unidos. As exportações tiveram, em 2007, um decréscimo de 17,7% para os produtos siderúrgicos, com 10,3 milhões de toneladas exportadas (US\$ 6,6 bilhões) e um decréscimo de 4,8% para o ferro-gusa, com 5,9 milhões de toneladas, indicando o aumento da demanda no mercado interno, que cresceu praticamente em todos os setores (IBS, 2008).

As importações de produtos siderúrgicos (semi-acabado, planos, longos e transformados), em 2007, também tiveram um decréscimo de 14%, com 1,615 milhões

de toneladas (US\$1,90 bilhão), em a relação a 1,879 milhões de toneladas (US\$1,46 bilhão) em 2006. As exportações representaram 30% das vendas dos produtos siderúrgicos e os outros 70% foram destinados ao mercado doméstico. Porém o consumo de aço, no Brasil, ainda é baixo, sendo o consumo *per capita* de aço bruto em 2006 de 110 kg/habitante, comparando com os 444 kg/habitante dos Estados Unidos, 650 kg/habitante do Japão, 607 kg/habitante da Alemanha. O faturamento do setor foi de US\$ 31,8 bilhões, em 2007, 27,1% maior que em 2006. O total de efetivo na atividade siderúrgica também cresceu em 2007 em 9,5%, com 118.135 empregados.

O parque siderúrgico brasileiro (usinas integradas e semi-integradas) compõe-se hoje de 25 usinas, administradas por oito grupos empresariais (IBS, 2008):

1. ArcelorMittal Brasil - incluindo a ArcelorMittal Inox Brasil, ArcelorMittal Aços Longos e ArcelorMittal Tubarão;
2. Aços Villares;
3. Grupo Gerdau;
4. CSN;
5. Usiminas/Cosipa;
6. Siderúrgica Barra Mansa;
7. V&M do Brasil;
8. Villares Metals;

O segmento dos produtores independentes fechou 2006 com 79 empresas e 154 fornos com capacidade nominal de produção de 14 Mt. O faturamento foi de US\$ 2,5 bilhões com geração de impostos de US\$ 336 milhões e mão-de-obra, correspondente a 30 mil empregos diretos e 100 mil indiretos. No estado de Minas Gerais concentra-se o maior número de produtores independentes de ferro-gusa do País, com 56% do faturamento do segmento em 2006. O setor possui mais de 1,7 milhão de hectares de florestas plantadas, que produzem o carvão vegetal para as indústrias de ferro-gusa. Os demais produtores operam na região de Carajás (PA e MA) e Espírito Santo e participam, respectivamente, com 36,4% e 3,9% do faturamento. Na região de Carajás a produção vem crescendo significativamente. Em 1989 a produção era de 280 mil toneladas e hoje é de 3,4 milhões de toneladas, o que mostra um crescimento de 1.134% ao longo de quase 20 anos (MME, 2007).

A sobrevalorização do real frente ao dólar, juntamente com a falta de carvão vegetal são os principais problemas da crise das indústrias mineiras de ferro-gusa. Em Minas Gerais, o parque industrial de ferro-gusa fechou 2006 com 40% dos fornos desativados e estima-se que a situação poderá se agravar à medida que o dólar cair e ou as disponibilidades de carvão vegetal diminuir. Apesar dos preços satisfatórios no mercado internacional, falta competitividade para exportar (MME, 2007) e as exigências ambientais e pressões contra a utilização de madeiras ilegais vem exigindo investimentos em reflorestamento, em longo prazo. Porém, segundo o SINDIFER (2008), a produção de gusa com utilização de 100% de carvão vegetal, resulta em um produto isento de enxofre, elemento indesejável nas aciarias e fundições. O produto tem hoje uma posição importante devido aos modernos programas de meio ambiente, juntamente com o conceito de desenvolvimento sustentável, que se ajusta na produção em decorrência dos programas de florestamento. Em função de componentes ambientais, tem-se hoje acesso a fontes de capital, derivados do Protocolo de Quito, que podem permitir tomar a produção de gusa cada vez mais viável. Assim é possível prever um novo surto de produção de gusa, sustentável, com uso de capitais de baixo custo.

Investimentos e Expansão da Produção

Segundo o IBS (2008), em seu relatório sobre investimentos e expansão da produção na siderurgia, o parque siderúrgico tinha capacidade de 37,1 Mt, em 2006, com investimentos de US\$ 18,9 bilhões realizados entre 1994 a 2006. Os dois grandes projetos de expansão, que iniciaram operação em 2007 (ArcelorMittal Tubarão e Gerdau Aço Minas), acrescentaram 4,0 Mt de aço bruto à capacidade total do setor, que atinge assim, 41,1 Mt/ano. Os investimentos previstos de 2007 a 2012 deverão focar no aumento da capacidade instalada, com US\$ 17,2 bilhões investidos e aumento de 15,1 Mt na capacidade (incluindo os 4 Mt de 2007). Projetos já em andamento após 2007, fora do parque instalado, irão investir US\$ 5,8 bilhões, com aumento de 6,8 Mt na capacidade, totalizando um aumento da capacidade em 2012 para 59 Mt. Alguns projetos em estudo indicam investimentos de 14,6 bilhões após 2009, com novo adicional de capacidade de 19 Mt.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho envolveu, basicamente, pesquisas bibliográficas e entrevistas. Segundo Marion (*apud* Faria, 2007), a pesquisa bibliográfica tenta explicar o problema com base em contribuições teóricas publicadas em documentos, tais como, livros, revistas e jornais.

O trabalho se iniciou com a definição de dez temas a serem abordados:

1. Situação brasileira e mundial da indústria siderúrgica;
2. Histórias da siderurgia mundial e brasileira;
3. Florestas e a produção de eucalipto;
4. Protocolo de Quioto;
5. Processos de produção do aço;
6. Legislações brasileiras ambientais para emissões atmosféricas;
7. Ecologia;
8. CO₂ na siderurgia;
9. Situação econômica e política do país;
10. Carvão vegetal *versus* coque.

Os temas acima formaram a base para a pesquisa e serão tratados nos capítulos deste trabalho, não necessariamente apresentados na ordem. Para a coleta de dados foi feita uma pesquisa em livros e artigos sobre os assuntos previamente definidos. A investigação documental ocorreu na biblioteca da Escola de Engenharia da UFMG, banco de dados de teses da CAPES e em páginas da *internet* de empresas siderúrgicas, órgãos do governo, sindicatos, faculdades, entidades internacionais e organizações não governamentais.

Durante este processo, empresas do ramo siderúrgico, que utilizam nos altos-fornos carvão vegetal de florestas plantadas, foram procuradas e questionadas sobre seus projetos de redução de emissão dos GEE. As empresas Plantar e ArcelorMittal Florestas contribuíram com informações fundamentais e, por isso, formam o estudo de caso desta dissertação. Estas duas empresas foram entrevistadas e foi possível obter algumas opiniões sobre o assunto objeto deste estudo, além de documentação adicional.

Além de enquadrar um estudo de caso, esta dissertação também inclui um estudo histórico, tendo como base a investigação documental e bibliográfica para

recontar a história e entender os acontecimentos atuais. Foram utilizadas múltiplas fontes de dados para assegurar significância aos resultados.

Apesar da abrangência quanto à coleta de dados, estudos de caso e histórico requerem do pesquisador imparcialidade ao descrever os fatos, de maneira a não demonstrar juízo de valor (CRESWELL *apud* Ferreira, 2005). A principal crítica a estudos como o histórico e o de caso refere-se à falta de procedimentos metodológicos rígidos. Exige, portanto, redobrada atenção do pesquisador tanto no planejamento quanto na coleta e análise dos dados, de forma a demonstrar sua imparcialidade (GIL *apud* Ferreira, 2005). Tais características limitam o estudo, na medida em que as conclusões obtidas não podem ser generalizadas e a extrapolação dos resultados é bastante reduzida. Contudo, seu objetivo principal é proporcionar uma visão global do problema ou identificar fatores que o influenciam ou por ele são influenciados (GIL *apud* Ferreira, 2005).

5 A HISTÓRIA DA SIDERURGIA

5.1 Objetivo Específico

Analisar a história e o surgimento da siderurgia no Brasil, identificando as oportunidades e as dificuldades para manutenção da siderurgia a carvão vegetal.

5.2 Apresentação dos dados da literatura

5.2.1 História da siderurgia no mundo

Os períodos da evolução do homem do ponto de vista cultural têm sido classificados em Idade da Pedra, Idade do Bronze e Idade do Ferro (Gomes, 1983). A sociedade primitiva utilizava ferro metálico, encontrado na natureza, proveniente de meteoritos. O que explica a utilização do termo Siderurgia, que vem do latim *Sidus*, e significa estrela (JACOMINO *et al.*, 2002). Por ser de difícil obtenção e possuir alta maleabilidade era considerado um metal precioso, destinado principalmente ao adorno. O processo de extração do ferro, diretamente do minério, foi descoberto por acaso, quando pedras de minério foram colocadas em uma fogueira com carvão, obtendo-se o que hoje se chama de ferro esponja. A criação desta indústria rudimentar explica as amostras de metal existentes em monumentos antigos, que demonstraram não serem provenientes de meteoritos. A Idade dos Metais se seguiu após a Idade da Pedra, sendo que primeiro veio a idade do Bronze e, em seguida, a do Ferro. A Idade do Bronze se desenvolveu entre os anos 4000 a 2000 a.C., que possibilitou a fabricação de armas e instrumentos mais rígidos. A Idade do Ferro é considerada como o último estágio tecnológico e cultural da pré-história. Aos poucos, as armas e utensílios foram substituídos pelo ferro. E foi em torno de 1500 a.C., que se iniciou a exploração regular de jazidas de ferro. A idade do ferro começou na Europa e no Oriente Médio por volta de 1200 a.C.. Na China, porém, ela só se iniciou em 600 a.C. (IBS, 2008).

Pode-se considerar o processo dos cadinhos ou os das forjas italiana e catalã, como o aperfeiçoamento do processo primitivo de obtenção de ferro metálico. A terceira fase do desenvolvimento é um produto fundido, uma liga mais complicada de ferro, que se dá o nome de ferro-gusa, palavra derivada do alemão *Gusseisen*, que quer dizer ferro fundido (Gomes, 1983). O gusa possui 92% a 96% de ferro, até 3% de silício, até 4% de carbono e pequenas quantidades de manganês, enxofre e fósforo. O produto se funde entre 1150 a 1250° C, e existem duas qualidades; o cinzento e o

branco. O primeiro é mais próprio para a moldagem e o segundo é mais quebradiço e duro.

O primeiro alto-forno a produzir somente ferro-gusa líquido foi o *Flussofen*, no vale do rio Reno, na região hoje ocupada pela França, Bélgica e Alemanha, no ano de 1300 (JACOMINO *et al.*, 2002). No século XVII, a temperatura do ferro-gusa nos fornos chegava a 1400° C e o ferro era vazado do cadinho em leitos de areia. O longo canal principal era chamado de *sow* (porca) e os moldes pequenos eram conhecidos como *pig* (porcos), dando origem a denominação em inglês, *pig iron* para o ferro-gusa sólido. As temperaturas elevadas permitem a absorção do carbono, o que torna a liga mais dura e resistente.

A revolução industrial tornou a produção de ferro mais importante para a humanidade, devido à mecanização e à formação das sociedades urbanas. O aumento da demanda por produtos feitos de ferro e o elevado consumo de carvão vegetal proporcionaram a necessidade de fontes alternativas, com produção em maior escala e mais barato. E foi em 1709, que Abraham Darby teve sucesso na redução do ferro com a utilização do carvão mineral, transformando-o em coque antes do seu carregamento no alto-forno (Brandt, 1960). Em 1780, os sopradores foram pela primeira vez acionados a vapor. Em 1828, o escocês James Beaumont Neilson criou o primeiro pré-aquecedor de ar soprado, que deu origem aos recuperadores de calor tubulares. Em 1857, Alfred Cowper utilizou, pela primeira vez, regeneradores contendo refratários, que aquecidos pela queima do gás do próprio alto-forno, elevam a temperatura de sopro. O tubo-soprador, para sopro do ar nas ventaneiras, surgiu em 1910, mesmo ano que a máquina de sinterização. Outras melhorias foram desenvolvidas nos anos subsequentes, como o uso de calcário, refrigeração na parede, o uso de um topo capaz de sofrer pressurização e permitir que os gases escapem por dutos encontrados no topo. Na figura 8 podem ser vistos alguns desenhos esquemáticos que mostram a evolução do alto-forno ao longo do tempo.

Em 1856, o ferro-gusa passou, de forma sistemática, a ser transformado em aço, mais resistente, com teor de carbono na ordem de 1%, adição de silício, manganês e outros elementos e eliminação máxima possível do enxofre e fósforo. Anteriormente o aço já havia sido produzido, porém, de forma rudimentar. A partir do século XX, foram

feitas melhorias de forma a reduzir o impacto no meio ambiente, reforçar a segurança e produzir cada vez mais aço com menos insumos e matérias-primas.

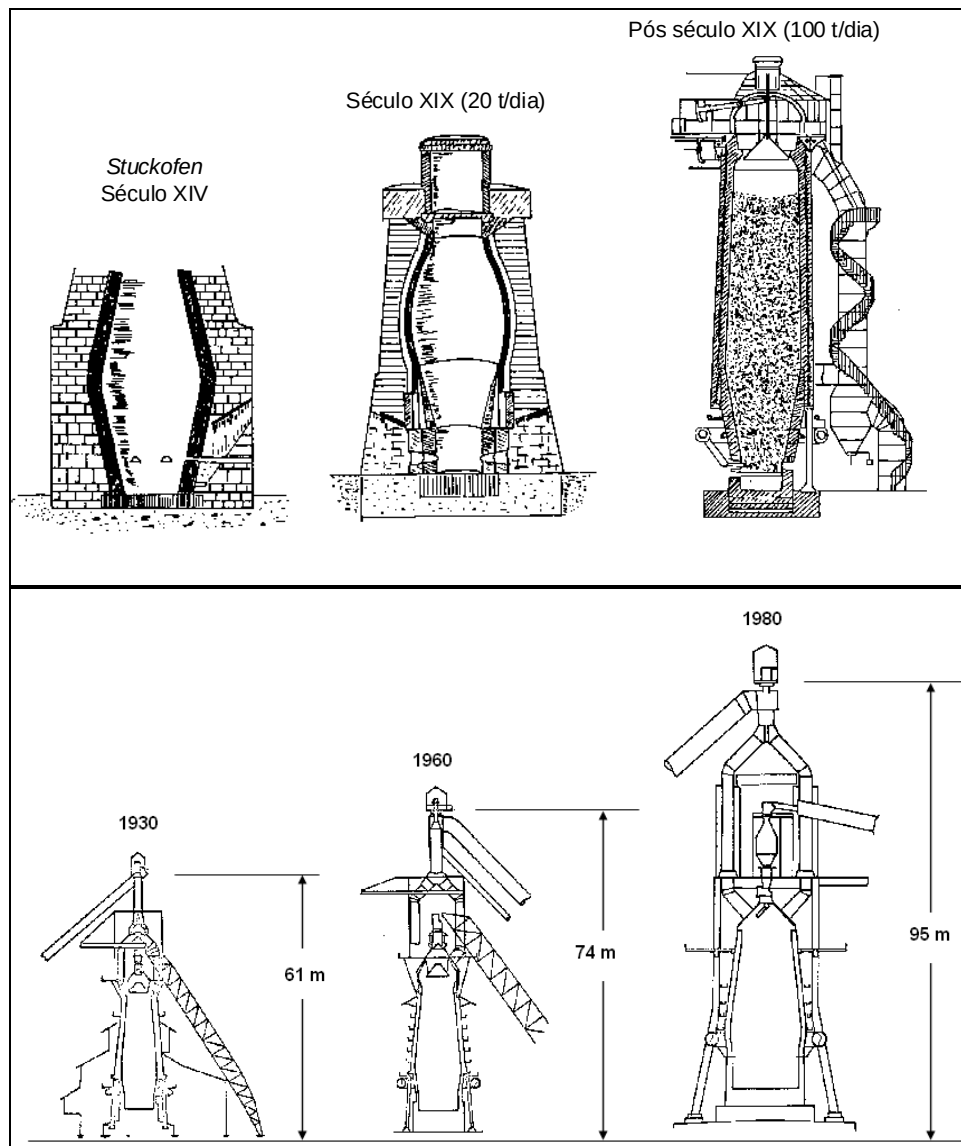


Figura 8 – História do alto-forno

5.2.2 A História da siderurgia no Brasil

De acordo com Gomes (1983), a luta para que o País tivesse uma indústria siderúrgica desenvolvida foi longa e árdua. Na época da descoberta do Brasil, as práticas mercantilistas dominavam a Europa. Os portugueses chegaram ao Brasil com o objetivo de achar ouro, prata e bronze. Em 1554, em um informe ao rei de Portugal, o Padre José de Anchieta fez a primeira menção à existência dos depósitos de metais no País: “agora finalmente se descobriu uma grande cópia de ouro, prata, ferro e outros metais, até aqui inteiramente desconhecido...” (Calógeras *apud* Gomes, 1983). Outras

descobertas foram documentadas, porém, Portugal, naquela época, explorava o Brasil colonial, a ponto de impedir qualquer progresso e desenvolvimento industrial. O Governo da Metrópole, no início da colonização, não estava preocupado com a utilização das riquezas minerais, mas apenas da exploração desta.

O Barão de Eschwege, em sua obra *Pluto Brasiliensis*, afirma que o primeiro lugar onde se descobriu minério de ferro foi em São Paulo (Gomes, 1983). Afonso Sardinha estabeleceu, em 1590, uma fábrica, com dois fornos para fabricação de ferro e aço, no Morro de Araçoiaba, estado de São Paulo. Alguns anos mais tarde, pensou-se em fabricar ferro para combater os holandeses, que se apossaram da Bahia canavieira com 26 navios, 500 canhões e 3500 homens (Freyre, 1988). Foi por isso, que em 1785, foi concedida uma carta régia a Domingos Ferreira Pereira para minerar ferro, chumbo, e estanho e construir fábricas com isenção de impostos, por dez anos. Neste mesmo período, houve no Brasil um alvará real que proibia a construção de fábricas, a fim de incentivar a agricultura e a exploração do ouro. O inconfidente José Álvares Maciel, no livro de Souza e Silva (*apud* Gomes, 1983), em conversa com o Tiradentes, afirmava que desde Vila Rica até Sabará encontrava-se abundância de ferro e cobre e interrogava sobre a exequibilidade da exploração de tais metais. Álvares Maciel se tornou, mais tarde, diretor e administrador da fábrica de Nova-Oeiras.

A Corte transferiu-se para o Rio de Janeiro, ameaçado por guerras napoleônicas, criando-se o Reino do Brasil. Posteriormente, acontecimentos ultrapassaram a expectativa portuguesa e o País se tornou independente. Tudo indicava que o Brasil passaria de uma economia de exploração para um país com apoio oficial para criar sua própria indústria. O Brasil possuía quantidades de matérias-primas (minério, carvão vegetal, fundentes), além de água em abundância, necessários para a indústria do ferro. Porém, pouco desenvolvimento foi observado, pois, segundo Gomes (1983), houve escassez de técnicos, causada pela insuficiente mão-de-obra disponível na Europa, as guerras e as rivalidades industriais.

A primeira tentativa do governo português na criação de uma siderurgia em grande escala no Brasil foi a fábrica de Ipanema, no município de Sorocaba, São Paulo. Ipanema foi construída próximo a Araçoiaba, onde Afonso Sardinha fundara a primeira forja que fabricou ferro no País (Gomes, 1983). Ainda segundo Gomes (1983), o local era propício, com condições geográficas e minério de fácil extração. Frederico Luís

Guilherme de Varnhagen, ex-oficial alemão, foi designado por ordem do Príncipe Regente D. João VI, a avaliar as terras, o minério e as dificuldades para implantação dos fornos e realizar um orçamento para implantação da Usina de Ipanema. Em 1810, criou-se oficialmente a fábrica, sendo que Carlos Gustavo Hedberg, chefe da missão de técnicos suecos vinda ao Brasil, foi nomeado diretor. Varnhagen foi nomeado membro da junta administrativa. Foram grandes as divergências entre a administração de Hedberg e as idéias de Varnhagen, começando pela construção dos fornos: Hedberg queria executar quatro fornos pequenos e Varnhagen dois altos-fornos. Segundo Gomes (1983), uma análise isenta da administração de Hedberg mostra que esta foi realmente desastrosa, com altos gastos, apesar das vantagens oferecidas pelo governo. Em 1814, os quatro pequenos fornos produziam por ano apenas 200 arrobas de ferro em barras, ao invés de 40.000 arrobas previstas. Em setembro de 1814, o príncipe regente pôs fim à missão sueca. Em 21 de fevereiro de 1815, Varnhagen assumiu a administração da fábrica e em 14 meses produziu 2.018 arrobas. Varnhagen deixou a direção da fábrica em 2 de junho de 1821. Segundo Gomes, apesar das críticas ao Varnhagen, sua administração reabilitou a obra de Ipanema, tão desmoralizada pelos desmandos do sueco Hedberg.

Duas outras tentativas de fábricas em Minas Gerais foram realizadas pelo Intendente Câmara e pelo Barão Von Eschwege. Dr. Manuel Ferreira da Câmara, mais conhecido como Intendente Câmara, teve importante papel na construção da fábrica do Morro do Pilar, em Minas Gerais. A primeira fábrica de ferro em grande escala de Minas Gerais (Gomes, 1983). Intendente Câmara queria construir uma usina de ferro para abastecer o País. Em 18 de agosto de 1814, entrou em operação o primeiro alto-forno, em condições bastante precárias. Porém, a deficiência de pessoal impedia que a fábrica progredisse e, em 1815, Câmara resolveu instalar dois fornos suecos. De acordo com Santos (Santos *apud* Gomes, 1983): “cada arroba de ferro vendida a 2000, custava à fábrica 6450 réis, ou seja, um prejuízo líquido de 4450 réis por arroba, aproximadamente.” A fábrica fechou completamente em 1831. O Barão de Eschwege, ao contrário do Intendente Câmara, teve a idéia de construir uma fábrica com aparelhamento modesto. A fábrica foi instalada na região de Prata, junto a Congonhas do Campo. Foram construídos quatro pequenos fornos do tipo *Stuckofen*. O primeiro ferro foi forjado em 12 de dezembro de 1812. Conforme afirma o barão (ESCHWEGE

apud Gomes, 1983), a mão de obra era escassa e sem comprometimento. Ainda segundo ele: “É quase impossível, pois no Brasil, fazer prosperar uma indústria, quando se depende do concurso de homens livres.” Esta frase demonstra a importância dos escravos negros africanos para o desenvolvimento da siderurgia no Brasil. Freyre (1988) salienta que o Brasil importou da África escravos negros de diferentes ofícios e categorias, incluindo os ferreiros ou conhecedores da arte metalúrgica. A fábrica funcionou até 1822, e foi a única com êxito regular. Após o fechamento das fábricas em Minas Gerais e o ritmo lento de operação da fábrica de São Paulo, surgiram dúvidas da capacidade do Brasil em manter uma fábrica de ferro. Principais problemas encontrados: a tecnologia trazida da Europa tinha que ser adaptada à realidade brasileira; os produtos brasileiros eram mais caros que os europeus; deveriam ser contratados estrangeiros que custavam caros e faziam inúmeras exigências.

Na época do império, prosperaram as forjas, que eram econômicas e produziam cada uma de 100 a 400 arrobas de ferro por ano, sendo construídas para consumo local. O ferro produzido passou a sustentar a agricultura e, enquanto não houve transporte mais eficiente para o interior, as forjas prosperaram, sendo em um número de 120 em 1870 (Gomes, 1983). Segundo Gomes (1983), três processos eram empregados: o do cadinho, o menos econômico, porém o que exigia menores conhecimentos técnicos; o das forjas italianas, superior ao primeiro, porém exigia melhor técnica; e o das forjas catalãs, com maior rendimento dos três e exigia mestres mais habilitados. Em 12 de outubro de 1876, iniciou-se a instalação da Escola de Minas de Ouro Preto, a primeira do País (Gomes, 1983). Os primeiros engenheiros da Escola de Minas, juntamente com os professores franceses foram os pioneiros no reconhecimento da vocação siderúrgica de Minas Gerais. Anteriormente, já havia sido solicitada, por Manuel Ferreira da Câmara, a instalação de cursos para a preparação técnica em metalurgia, porém recusada pelo governo (Freyre, 1988). Segundo Freyre (1988), era como dizer que este imenso país não precisava de engenheiros para construí-lo. Das forjas de Minas, uma que se destacou foi a Usina de Monlevade, construída e dirigida pelo engenheiro de minas francês Jean Antoine Felix Dissandes de Monlevade. Em 1817, Monlevade veio para o Brasil (Bovet *apud* Gomes, 1983) e em 1827, iniciou a construção da Usina de Monlevade, no rio Piracicaba, região com jazidas ferríferas, matas em abundância, calcário e rio com cachoeira. Monlevade construiu forjas catalãs

com maquinários importados da Inglaterra. A produção da fábrica era de 30 arrobas por dia, portanto 450 kg/dia. Depois da morte de João Monlevade, as forjas catalãs foram substituídas por forjas italianas, por falta de mão de obra especializada.

Com a proclamação da independência, a mentalidade nacionalista de proteção da indústria de ferro no Brasil se intensificou, especialmente após a decadência da exploração do ouro e a necessidade de novas fontes de riquezas. Em contradição, a Inglaterra era favorecida pela diminuição de impostos de importação, prejudicando a indústria local. Nesta mesma época, foram inauguradas a estrada de ferro Central do Brasil e a Estrada de Ferro D. Pedro Segundo, facilitando a concorrência dos produtos fabricados nas primitivas forjas com os produtos importados da Europa. A partir de 1888, houve um declínio da fase das forjas e se iniciou um período nada brilhante da indústria siderúrgica nacional (Gomes, 1983). Neste período entre 1888 e o fim da Primeira Guerra Mundial, a indústria de ferro em Minas Gerais passou por um processo de mudança, com o intuito de modernizar a produção de gusa, construindo altos-fornos com recuperação de calor e rendimento de combustível na ordem de uma tonelada de gusa com pouco mais de uma tonelada de carvão. Conforme Gomes (1983), a primeira usina construída nestes moldes foi a Usina Esperança, situada a cinco quilômetros de Itabira do Campo, hoje Itabirito. Fundada por Alberto Gerspacher, foi a primeira usina de gusa a carvão vegetal do Brasil. Situada em local adequado, perto do Pico de Itabira, com extensa mata ao redor, energia hidráulica e, a 500 m da estação Esperança da Estrada de Ferro Central do Brasil. A Usina Esperança também foi pioneira na produção de tijolos refratários para revestimento do alto-forno. Em 1901, tinha como diretor e proprietário o engenheiro Queiroz Júnior e, mais tarde, seus herdeiros deram à Usina Esperança o nome de Usina Queiroz Júnior. O forno tinha 9 m de altura, era suportado sobre um forte mássico de alvenaria e possuía um aparelho de aquecimento de ar que elevava a temperatura de 175° até 200° C. Chegou a produzir 6 toneladas por dia. A segunda usina construída, ainda no início da república, e irmã gêmea da Esperança, foi a Usina Miguel Burnier, projetada pelo filho de Alberto Gerspacher, José Gerspacher. O alto-forno foi projetado para produzir 5 toneladas por dia, com 9,85 m de altura e 2 ventaneiras. Mais tarde, melhorias foram feitas ao forno, como o aumento da altura, instalação de motor a gás que acionava uma máquina insufladora, dois aquecedores tipo Cowper, elevando a produção para 17 t por dia.

No final do século XIX, a situação não era animadora para a siderurgia nacional. A usina de Ipanema, sempre deficitária, fechou em 1895; a Usina de Monlevade, tão próspera, começou a decair com a morte de seu fundador e se fechou em 1897. Somente as usinas de Esperança e Miguel Burnier funcionavam no início do século XX. A situação dos primeiros 20 anos do século XX foi de estagnação, principalmente durante a Primeira Guerra Mundial. Após 1918, houve alguns incentivos do governo, como empréstimos e decretos com o intuito de incentivar a indústria siderúrgica. Novas usinas surgiram como a de Rio Acima com capacidade de 12 t por dia, de Caeté com capacidade de 17 t por dia, todas com altos-fornos a carvão vegetal. A usina de Morro Grande, em Santa Bárbara, Minas Gerais, teve o projeto do forno modificado pelo Gerspacher, após sua aquisição pela Companhia Brasileira de Usinas Metalúrgica. O forno era sustentado por 6 colunas de ferro fundido, possuía 6 ventaneiras, sob a pressão de 1,3 mCa e produção diária de até 26 t. José Gerspacher trabalhou também, a partir de 1920, na Companhia Siderúrgica Mineira, que depois se transformou na Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira. Em 1937, ele trabalhou na Usina da Saudade, fundada pela Companhia Votorantim de São Paulo e na usina do industrial Baldomero Bárbara, ambas em Barra Mansa, no Estado do Rio de Janeiro. O forno da Usina da Saudade tinha capacidade de 40 t por dia e era suportado por 6 colunas de ferro fundido, com 4 ventaneiras. O outro forno tinha capacidade de 30 toneladas, com consumo de 3 t de carvão por tonelada de ferro, que não prosperou. São seis altos-fornos que tiveram a participação de Gerspacher: o de Esperança, Miguel Burnier, Rio Acima, Companhia Siderúrgica Mineira, Barra Mansa, Saudade e de Bárbara & Cia., sendo que o primeiro foi construído pelo seu pai e o da Companhia Siderúrgica Mineira, pelo Prof. Alberto Magalhães Gomes. Comparando a evolução destes fornos, pode-se ver a substituição do mássico de alvenaria pelas colunas de ferro fundido; introdução das chapas de aço para revestimento externo; melhorias dos ventiladores e do sistema de aquecimento; introdução da recuperação do calor com aproveitamento dos gases do alto-forno. Gerspacher teve uma grande importância no desenvolvimento da siderurgia nacional, especialmente dos altos-fornos a carvão de madeira, na região de Minas Gerais (Gomes, 1983).

A Companhia Siderúrgica Mineira foi fundada em 1917, por dois engenheiros da Escola de Minas, para funcionar na cidade de Sabará (Gomes, 1983). O

prof. Alberto Augusto Magalhães Gomes projetou o alto-forno a carvão vegetal com capacidade de 25 toneladas. Em 1920, Gerspacher foi chamado pelos construtores, Gil Guatimosim e Amaro Lanari, para pôr o forno em operação. Era o maior até então posto em marcha no Brasil; com 14,35 m de altura, 1,3 por 1,75 metros de cadinho, suportado sobre 6 colunas de ferro fundido, vazão de 250 m³, pressão de 2,5 mCa e 2 Cowper. Em 11 de dezembro de 1921, com a entrada de capitais europeus, liderados pelo grupo ARBED, constituiu-se a Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira. Em 1925, foram inaugurados os fornos Siemens-Martin para fabricação de aço e os trens de laminação, se tornando a primeira usina integrada da América Latina (Gomes, 1983). Com o engenheiro Louis Enschedé, um novo plano de ampliação da fabricação do aço se deu início, utilizando a experiência européia da siderurgia em larga escala e a experiência local em pequena escala com altos-fornos a carvão vegetal. A usina mais viável que já tinha existido, foi a usina construída pelo Engenheiro João Monlevade. A experiência poderia ser novamente tentada, porém utilizando-se das técnicas mais modernas do século XX. Em 1934, começaram a executar os primeiros projetos da usina de Monlevade. Em 1937, foi inaugurado o primeiro alto-forno da usina, apesar da crise, principalmente devido ao dumping dos produtos siderúrgicos vindo dos Estados Unidos. Em 1948, foi inaugurada a primeira sinterização da América Latina e em 1957 a primeira aciaria LD (Linz-Donawitz). Gomes (1983) salienta o progresso que a Belgo-Mineira realizou para o desenvolvimento da siderurgia a carvão de madeira e a importância desta usina sobre o desenvolvimento da indústria de ferro no Brasil. Em 1957, foi criada a CAF, Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara, com o objetivo de melhor administrar toda a infra-estrutura voltada às atividades de reflorestamento e carvoejamento. Em 2000, a Belgo inaugurou o seu alto-forno operado a coque, em substituição aos cinco altos-fornos que funcionavam a carvão vegetal. Em 2001, se tornou parte do Grupo Arcelor e depois do Grupo ArcelorMittal. Hoje, conhecida como ArcelorMittal Aços Longos, tem capacidade instalada de 5,1 milhões de toneladas/ano de laminados e 1,48 milhão de toneladas de trefilados (ArcelorMittal, 2008). Ainda possui altos-fornos a carvão vegetal nas plantas de Sabará e Juiz de Fora.

Foi no Governo de Arthur Bernardes (1922-1926) que o preconceito contra o carvão vegetal se tornou dominante (Gomes, 1983). Continuaram os decretos que favoreciam a indústria siderúrgica, com um diferencial, o alto teor nacionalista e adoção

de certas normas como, o aproveitamento do coque nacional como redutor em altos-fornos e a criação da indústria com base na eletricidade. Nesta época, as jazidas nacionais no sul do Brasil já eram conhecidas, porém a solução para a média siderurgia nacional a carvão de madeira se mostrava ainda mais econômica que a siderurgia a coque, mas em escala bem menor. Testes nesta época foram feitos no carvão mineral nacional que demonstraram elevado teor de cinzas e enxofre. O trabalho realizado por Rocha (*apud* Gomes, 1983) sobre o carvão de Santa Catarina conclui que a utilização do coque nacional para o fabrico de gusa e utilização de minério rico conduzia a um resultado análogo ao emprego de coque rico e minério pobre, conforme prática corrente industrial. Labouriau (*apud* Gomes, 1983) defendeu a idéia de se construir fornos com o uso do coque mineral, e afirma que seria a única solução para o problema siderúrgico brasileiro. Defende a importação de coque como um início para posterior utilização do carvão nacional. O problema antigo volta à discussão: as estradas de Minas só podiam transportar minério, não podiam nem importar carvão, nem exportar aço.

Na época do governo provisório (1930-1934), foi criada a Comissão Nacional de Siderurgia (CNS). A CNS tinha como incumbência estudar o aproveitamento dos minérios de ferro nacionais, seja com o objetivo da exportação ou de promover a implantação da indústria siderúrgica em larga escala no Brasil. O relatório final, assinado em 3 de julho de 1933, demonstrou que a solução da siderurgia nacional na época era o alto-forno a carvão vegetal, situado na região do minério. Segundo Gomes (1983), a recusa de reconhecer o fato desta verdade custou caro ao Brasil. A idéia era desenvolver a siderurgia sem depender das grandes oscilações do mercado de coque importado. A obra da ABM, *Siderurgia Brasileira a Carvão Vegetal*, (Gomes, 1983) estudou o preço do carvão vegetal e do coque durante dez anos. O carvão vegetal passou de 21 dólares a tonelada em 1966, para 50 dólares em 1975. No mesmo período, o coque passou de 25 dólares a tonelada em 1925 para 80 dólares em 1975. Gomes (1983) afirma que, além de ser um recurso renovável, o carvão vegetal, com o devido reflorestamento, permite empregar a população rural, com melhoria da classe miserável do País. No parecer final da Comissão Executiva ficou clara a visão do futuro e a defesa dos interesses nacionais. Esse relatório soube ver a importância para o Brasil da siderurgia a carvão vegetal, o papel preponderante do transporte na solução do problema siderúrgico nacional, o alto interesse do Brasil em pesquisar as possibilidades

do carvão mineral nacional para fabricação do coque e o interesse em exportar minério para obter transporte fácil de coque estrangeiro. A comissão era formada por profissionais capacitados e pessoas experientes, porém, infelizmente o relatório não foi devidamente considerado pelo Governo (Gomes, 1983).

Em 1940, em plena Guerra Mundial, o Brasil estava ansioso para fazer uma grande indústria siderúrgica. O Presidente Vargas, que criou a Comissão Nacional de Siderurgia, e após 10 anos de discussões e estudos, não havia um plano nacional, solicitou que fossem definidas as bases de uma nova usina. Os estudos identificaram que para tornar o País auto-suficiente, a nova usina deveria produzir cerca de 300.000 toneladas de aço por ano (Gomes, 1983). O estudo fez a análise da localização da usina, que deveria ser tal, que: as matérias-primas chegassem a um preço razoável e os produtos acabados em condições ainda melhores para o mercado consumidor; e que fossem evitadas grandes despesas em infra-estrutura, na transformação de estradas, ferrovias e portos. O planejamento era que a usina tivesse coqueria para 400.000 toneladas de coque, um alto-forno para produção de 350.000 toneladas de gusa, aciaria com capacidade de 400.000 toneladas de aço, trem laminador de 40 polegadas, trem laminador para trilhos e perfis pesados, trem laminador para tarugos, trem laminador para chapas e folhas de flandres. A escolha de Volta Redonda não foi por razões econômica, e sim uma solução política, que determinava que a usina deveria ser situada no centro do mercado consumidor, que naquela época já estava no eixo Rio/São Paulo (Gomes, 1983). A situação de guerra favoreceu o estabelecimento da usina de Volta Redonda, principalmente com a entrada do Brasil, em 1939, ao lado das potências aliadas. Neste mesmo período, o Brasil permitiu que os Estados Unidos instalassem uma base aérea em Natal, para travessia dos aviões norte-americanos no Atlântico. Tal favor, e com a devida pressão do Presidente Getúlio Vargas, proporcionou ao Brasil o financiamento da construção da Usina de Volta Redonda pelo banco norte-americano Export-Import Bank. Em 9 de abril de 1941, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) teve sua assembléia de constituição definitiva. Iniciaram-se os processos de contratação e construção das infra-estruturas e da usina. Tratava-se de uma obra de grande alcance para o País, o que exigia profissionais de alto nível em diversas especialidades, com apoio de técnicos ingleses, americanos e japoneses. A firma Arthur G. McKee & Co., de Cleveland, foi selecionada para trabalhar no projeto da usina. Várias dificuldades foram

encontradas, principalmente no que se refere ao aumento do preço dos materiais, dificuldade de entrega nos prazos combinados devido à guerra, interesses internacionais, inflação no Brasil. Jovens começaram a ser treinados em soldagem, mecânica, montagem elétrica, metalurgia, desenho técnico. Em 12 de outubro de 1946, já no governo do Marechal Eurico Gaspar Dutra, foi oficialmente inaugurada a Usina de Volta Redonda, depois de 7 anos de esforços. A usina foi o primeiro passo para realização do plano siderúrgico nacional e sua capacidade de 300.000 toneladas anuais foi um empreendimento bastante avançado para a época (Gomes, 1983). A CSN foi privatizada em 1993 e após sucessivas expansões e modernizações, a empresa tem hoje capacidade de produção anual de 5,4 milhões de toneladas (CSN, 2008).

Gomes (1983), defensor da usina a carvão vegetal, afirma que a usina de Volta Redonda não prejudicou em nada o desenvolvimento das outras siderúrgicas no País, além de reconhecer que a grande siderurgia com emprego do carvão de madeira, só poderia ter um desenvolvimento mais lento. Nesta época, paralelamente a indústria de Volta Redonda, a indústria a carvão vegetal vinha progredindo na região de Minas Gerais de maneira segura e econômica. Monlevade mostrou a possibilidade de que com técnicas avançadas e capitais relativamente modestos, era possível uma siderurgia em escala razoavelmente importante a carvão vegetal. Volta Redonda mostrou que, pagando bem a tecnologia e o equipamento estrangeiro, e gastando muito no País, era possível operar uma importante usina a coque. O futuro mostrou que ambos os programas poderiam ser desenvolvidos, entretanto, a iniciativa estatal pendeu para a siderurgia a coque. O governo federal adotou tarifas para favorecer indústrias no sul (eixo Rio/São Paulo), em detrimento aos estabelecimentos em Minas Gerais. O mesmo acontecia com as estradas de ferro, que só se desenvolviam no sentido Rio e São Paulo. Minas Gerais começou a lutar pelos seus interesses, por tarifas de transporte de gusa e materiais acabado mais justas e pelo desenvolvimento das ferrovias, muitas já quase abandonadas nesta época. O mesmo motivo que incentivou Minas Gerais a ampliar seu desenvolvimento siderúrgico em grande escala, despertou também as ambições industriais paulistas. São Paulo se achava ameaçado da criação de um centro fora dele e foi o Engenheiro Plínio Queiroz, que lançou a idéia da Companhia Siderúrgica Paulista. Paralelamente, em Minas Gerais, processava-se um movimento para criar uma usina em grande escala, a coque, com participação japonesa. Foi então planejada uma missão

japonesa a Minas Gerais, que foi decisivo no objetivo de influenciar o governo e indústrias japonesas na participação da montagem de uma usina siderúrgica no Vale do Rio Doce, a USIMINAS. Os japoneses não foram chamados apenas como consultor e projetista, mas também como participante. Após várias reclamações, jogos de interesses e diplomacias, o então presidente Juscelino Kubitschek prometeu apoio à obra e se comprometeu que a CSN colaboraria com as duas empresas COSIPA e USIMINAS em condições de igualdade (Gomes, 1983). Para a criação da USIMINAS, a cidade de Ipatinga foi escolhida, devido à localização facilitada para a obtenção do carvão mineral. A usina iria, na primeira etapa, produzir 504.000 toneladas por ano de gusa, 240.000 toneladas de lingotes de aço e 158.000 toneladas de chapas grossas. Na segunda etapa, a quantidade de lingotes seria aumentada para 504.000 toneladas. Haveria sinterização, coqueria, dois altos-fornos, dois convertedores e, para laminação estavam previstos um desbastador e três laminadores de chapas grossas, de tiras a quente e de tira a frio e um galvanizador contínuo. Em 03 de junho de 1957, foi assinado o acordo entre a USIMINAS e o governo japonês, com o estabelecimento da sociedade Nippon USIMINAS (USIMINAS, 2008). Em 16 de agosto de 1958, foi cravada solenemente a estaca inicial para a construção da usina, em Ipatinga. A Usina Intendente Câmara foi inaugurada em 26 de outubro de 1962, por João Goulart. Em 26 de outubro de 1969, a USIMINAS iniciou a expansão de sua produção para 1,4 milhão de toneladas. Em 20 de dezembro de 1974, foi inaugurado o alto-forno 3, proporcionando um aumento da capacidade de produção para 3,5 milhões de toneladas ao ano. Em 1991, com o início do Programa Nacional de Desestatização (PND), a USIMINAS foi uma das empresas escolhidas para inaugurar a privatização. Em 2007, a USIMINAS produziu 4,34 milhões de toneladas, incluindo chapas grossas, tiras a quente, tiras a frio, laminados, galvanizados e placas.

A COSIPA foi constituída em uma reunião no Instituto de Engenharia de São Paulo. O início das operações da usina se deu em 18 de dezembro de 1963, com a inauguração da Laminação a Quente. Em 29 de outubro de 1965, com a inauguração do alto-forno 1, a COSIPA passou a produzir 1,6 mil toneladas por dia de ferro-gusa. A aciaria e a coqueria foram inaugurados em 1965 e em 31 de março de 1966 foi inaugurada oficialmente a usina integrada José Bonifácio de Andrade e Silva. O porto da COSIPA foi inaugurado em 27 de julho de 1969. Em 1976, foi inaugurado o alto-

forno 2 e, em 1986, a aciaria 2, com uma expansão da capacidade para 3,9 milhões de toneladas de aço líquido por ano (COSIPA, 2008). Em 1993, a COSIPA foi privatizada. Em 1999, iniciaram as obras de expansão da usina, que foram concluídas em 2001, com a entrada em operação do convertedor 7 e aumento de produção para 4,5 milhões de toneladas. Em 2005, a USIMINAS, líder do Sistema USIMINAS, concluiu a operação de fechamento de capital da COSIPA, passando a ser sua subsidiária integral. Em 2007, o Sistema USIMINAS anunciou que iria investir cerca de US\$ 9 bilhões até 2015, no empreendimento de um Plano de Desenvolvimento, com o objetivo principal de consolidar a liderança no mercado interno e sua presença de porte no mercado internacional. (USIMINAS, 2008).

Depois da Belgo-Mineira, a mais importante fábrica de aço a carvão de madeira fundada no Brasil foi a Companhia de Aços Especiais Itabira, a ACESITA, no município de Timóteo, no médio Rio Doce (Gomes, 1983). A ACESITA foi fundada em 31 de outubro de 1944. Em 1949, ocorreu a primeira corrida do alto-forno 1 a carvão vegetal, de 200 toneladas por dia. Em 1951, foi inaugurada a aciaria Bessemer visando à produção de aços comuns e especiais. Em 1957, teve início o primeiro plano de expansão da usina. Em 1969, foi aprovado o segundo plano de expansão da empresa, com o emprego do processo LD (convertedor Linz- Donawitz) para fabricação do aço. A usina passou a produzir 300.000 toneladas por ano. A Florestal Acesita S.A. foi fundada em 1974, para suprir a demanda por carvão vegetal. Em 1977, teve início a terceira expansão, com um novo convertedor AOD (vaso de descarburização Argônio-Oxigênio) para produção de 120.000 t/ano de aço inox. O alto-forno 2 foi inaugurado em 1979, na época, o maior do mundo a carvão vegetal com 900 t/dia. Neste mesmo ano, foram inaugurados a fábrica de oxigênio, a laminação a frio, o convertedor LD de 75 t, o laminador de tiras a quente e o lingotamento contínuo. Em 1984, a capacidade da usina superava 600.000 toneladas por ano (ACESITA, 2008). A ACESITA foi privatizada em 1992. Em 1998, com investimentos de US\$600 milhões, a empresa concluiu a sua quarta expansão, com capacidade de 290.000 t/ano de aço inox. Em 2007, a ACESITA passou a chamar ArcelorMittal Inox Brasil, com capacidade instalada de 900 mil toneladas/ano de aço líquido.

Outra usina que se destacou na fabricação de ferro-gusa a carvão vegetal foi a Companhia Siderúrgica Mannesmann, fundada em 1952 e inaugurada em 1954, por

um grupo de industriais alemães. Foi construída para produzir aços comerciais, especiais e tubos com ou sem costura. Em 1972, a usina possuía um alto-forno a carvão vegetal com capacidade de 500 toneladas por dia. Em dezembro de 1977, a razão social da empresa foi alterada para Mannesmann S.A.. Em 2000, a empresa foi incorporada pela *joint-venture* formada entre a francesa Vallourec e a alemã Mannesmannröhren Werke, passando a se chamar V&M do BRASIL (VMTUBES, 2008). Em 2007, a usina, com dois altos-fornos a carvão vegetal, tem capacidade para produzir 600 mil toneladas de tubos de aço sem costura por ano.

Em 1968, foi criado o Conselho Consultivo da Indústria Siderúrgica (CONSIDER), subordinado ao Ministério da Indústria e do Comércio, com o objetivo de definir a política siderúrgica, estudar o mercado nacional do aço, lançar as bases para ampliação e expansão do setor siderúrgico. Posteriormente a CONSIDER, foi criada a SIDERBRÁS, com o objetivo de construir o “holding” das empresas siderúrgicas pertencentes ao governo brasileiro. Em 1977, foi aprovado pela CONSIDER o projeto básico final da Aço Minas Gerais S.A., AÇOMINAS. A usina foi inicialmente projetada para 2.000.000 toneladas de gusa por ano, com um alto-forno de 5.500 toneladas por dia. Seu projeto e fornecimento foram contratados da firma Davy Ashmore Internacional, segundo especificações fornecidas pela USIMINAS e pela própria equipe da AÇOMINAS. Em 1985, o presidente da República João Batista Figueiredo assinou o decreto-lei nº 90.929, dando à usina o nome de presidente Arthur Bernardes e, em 1986, o presidente da República José Sarney inaugurou a usina, em Ouro Branco (Açominas, 2007). A AÇOMINAS foi privatizada em 1993. Em 2002, o grupo Gerdau assumiu a posição majoritária no controle acionista da usina. Em 2003, a Açominas e o grupo Gerdau anunciaram a integração de seus ativos financeiros, criando a Gerdau Açominas. Em 2004, começam os estudos para expansão da usina, entrando em operação em 2007, elevando a capacidade da usina de 3 milhões de toneladas para 4,5 milhões de toneladas de aço líquido ao ano, e investimento de US\$1,5 bilhão.

A CST, Companhia Siderúrgica de Tubarão, foi constituída em junho de 1976, como uma *joint-venture* de controle estatal e com a participação minoritária dos grupos Kawasaki, do Japão, e Ilva (ex-Finsider), da Itália. Porém, a sua operação só começou em novembro de 1983 (ArcelorMittal, 2008). A privatização ocorreu em 1992. Em 2002, a CST finalizou um programa de investimentos na ordem de US\$ 1,8 bilhão,

com um novo lingotamento contínuo, alto-forno e laminação de tiras a quente, produzindo 5 milhões de toneladas/ano (placas e bobinas). Em 2003, teve início o plano de expansão para produção de 7,5 milhões de toneladas de aço por ano e recursos na ordem de US\$ 1 bilhão. Em outubro de 2005, foi criada a Arcelor Brasil, resultado da união da Siderúrgica Belgo Mineira, CST e Vega do Sul. Em junho de 2006, a Arcelor e suas subsidiárias passaram a fazer parte do grupo ArcelorMittal, como consequência da fusão entre a Arcelor e a Mittal. A CST, denominada hoje ArcelorMittal Tubarão, tem capacidade de produção de 7,5 milhões de toneladas de aço, após a entrada em operação, em 2007, das novas unidades produtivas.

5.3 Destaques dos dados da literatura

Conforme apresentado, o Brasil teve grande dificuldade em estabelecer sua indústria siderúrgica. Os principais motivos foram:

- Impedimentos de Portugal, com interesses apenas na exploração da colônia;
- Falta de técnicos especializados e necessidade de importação de técnicos exigentes, nem sempre interessados no desenvolvimento nacional;
- Dificuldade de transferência de tecnologia, por impedimento dos países já industrializados ou por necessidade de adaptações para a situação do Brasil;
- Falta de mão de obra capacitada e necessidade de utilização de mão de obra escrava, mas capacitada. Com a abolição da escravatura as dificuldades aumentaram e os custos de produção cresceram;
- Concorrência desleal com o mercado externo, que tinham algumas vezes incentivos do governo brasileiro, ou do seu próprio governo (como dumpings, etc.)
- Dificuldade de transporte local dos produtos produzidos, facilitando a criação de fábricas apenas para consumo local, com baixa produtividade, portanto menos competitivos;

A construção da usina de Ipanema demonstrou as dificuldades da instalação da siderurgia em grande escala no País. Os interesses pessoais, falta de capacitação técnica e administrativa demonstraram que o Brasil estava longe de se tornar auto-

sustentável na produção de ferro. Outras tentativas, como a fábrica do Morro do Pilar, também demonstraram estas dificuldades. A instalação da Escola de Minas de Ouro Preto foi um marco para a criação destes profissionais qualificados brasileiros. A Usina de Monlevade demonstrou que com a qualificação era possível produzir ferro e aço com lucratividade. O Brasil tinha as condições adequadas (matéria-prima, área, disponibilidade de mão de obra), só não estava preparado tecnicamente e não tinha a infra-estrutura necessária. Dos altos-fornos de Minas Gerais com a participação do engenheiro Gerspacher, após o fim da Primeira Guerra, muitos prosperaram e ajudaram no desenvolvimento de tecnologias nacionais, atendendo as condições nacionais. A fundação da Companhia Siderúrgica Mineira demonstrou a capacidade de produção em maior escala de gusa com carvão de madeira, possibilitando a independência do mercado de carvão mineral externo. A usina prosperou, inclusive após sua internacionalização, primeiramente com o grupo ARBED e hoje parte do grupo ArcelorMittal. A produção de gusa a carvão vegetal ainda faz parte de seu processo produtivo e ainda é um dos focos da empresa, com a manutenção da CAF.

Com a revolução industrial na Europa, o aumento do consumo de ferro exigiu a criação de uma indústria em grande escala. Os pequenos altos-fornos a carvão vegetal foram substituídos pelos altos-fornos maiores a coque. O governo brasileiro, apesar de indicações no relatório elaborado pela CNS, que demonstrou que a solução da siderurgia nacional para a época era o alto-forno a carvão vegetal, insistiu na instalação da grande indústria nacional, como na Europa, com usinas a coque. Foram criadas a CSN, USIMINAS, COSIPA e depois a AÇOMINAS e CST (hoje ArcelorMittal Tubarão). Porém, algumas experiências de indústria a carvão vegetal, também vingaram em grande escala, como a Belgo-Mineira (hoje ArcelorMittal Aços Longos), a ACESITA (hoje ArcelorMittal Inox) e a V&M do Brasil.

6 FLORESTAS DE EUCALIPTO

6.1 Objetivo Específico

Verificar as condições no Brasil para a produção de florestas de eucalipto, qualificando os aspectos técnicos, sócio-econômicos, ambientais e políticos e quantificando a área mínima necessária para a sua implantação.

6.2 Apresentação dos dados da literatura

6.2.1 Florestas no Brasil e no Mundo

Floresta é a área mínima de terra de 0,05 a 1 hectare, com cobertura de árvore de mais de 10-30% e com o potencial de alcançar uma altura mínima de 2 a 5 metros na maturidade *in situ*, conforme definição do LULUCF (parte do Protocolo de Quioto para atividades do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas) (Scarpinella, 2002). Segundo Scarpinella (2002), as florestas podem ser naturais (sem interferência do homem) ou artificiais (geralmente para fins econômicos), homogêneas ou heterogêneas, com espécies em idades variadas ou semelhantes, folhosas ou resinosas (coníferas – folhas longas e finas).

Desmatamento é a operação que objetiva a supressão total da vegetação nativa de determinada área para o uso alternativo do solo. Considera-se nativa toda vegetação original, remanescente ou regenerada (IBAMA, 2003). Segundo a Conferência das Partes (COP), o desmatamento é a ação direta do homem na conversão de terras florestadas em terras não florestadas. Florestamento é a conversão por indução direta do homem de terras não florestadas para terras florestadas (Scarpinella, 2002).

Conforme o FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2007), o mundo possui cerca de 4 bilhões de hectares de florestas, cobrindo aproximadamente 30% da área mundial. Cinco países (Rússia, Brasil, Canadá, Estados Unidos da América, China) juntos são responsáveis por mais da metade da área total de florestas do mundo. A América Latina e a região Caribenha possuem recursos florestais abundantes, com 22% das florestas mundiais. Na figura 9 pode ser visto a cobertura florestal da região em 2001. No Brasil, cerca de 2/3 do território são formados por florestas (FAO *apud* Scarpinella, 2002), possuindo 538,7 milhões de hectares de florestas nativas (ABRAF, 2008). O território nacional é

dividido em cinco biomas: a Floresta Amazônica, o Pantanal, o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica (IBAMA, 2003).



Figura 9 – Extensão dos recursos florestais na América Latina e Caribe
Fonte FAO, 2007

O desmatamento está ocorrendo no mundo a uma taxa de 13 milhões de hectares por ano. De 1990 a 2005, a Terra perdeu 3% da área total florestada, com uma média de 0,2% por ano. Na América Latina e região Caribenha, neste mesmo período, foram desmatados 64 milhões de hectares de florestas. A principal causa do desmatamento é a conversão de florestas em agricultura, queimadas e suprimento de madeira. Durante 1999 a 2003, países da América do Sul reportaram uma média de 26.000 incêndios florestais por ano, queimando uma média de 5,5 milhões de hectares anualmente.

Globalmente, as plantações florestais representam 4% da área total de florestas. Florestas plantadas continuam expandindo e contribuem na produção de madeira global em aproximadamente 50% do total (FAO, 2007). Destas áreas plantadas 73% são para produção e 27% são para áreas de proteção. A China foi o país com maior plantações florestais em 2005 (71,3 milhões de hectares), seguido pela Índia (30,0 milhões de hectares) e Estados Unidos (17,1 milhões de hectares). O Brasil é um país com grande vocação florestal, apresentando em 2006 cerca de 5,7 milhões de hectares de florestas plantadas. O Valor Bruto de Produção do setor florestal no Brasil foi da ordem de 56,6 bilhões de reais em 2006, com recolhimento de 9,26 bilhões de reais em

impostos (1,1% do total recolhido em 2006). O setor de florestas plantadas foi responsável por cerca de 4,3 milhões de empregos diretos, indiretos e resultantes do efeito-renda (ABRAF, 2007). O consumo de madeira em tora de florestas plantadas para uso industrial no Brasil foi de 156 milhões de metros cúbicos em 2006, sendo 66,1% de eucalipto e 33,9% de pinus. O principal segmento consumidor é a indústria de papel e celulose (29,9%), seguida pela siderurgia (22,1%) e pela indústria de madeira serrada (19,1%).

6.2.2 Histórico do Desmatamento no Brasil

Desde o início da colonização do Brasil, as florestas da região costeira vêm sendo derrubadas, incluindo as matas de jacarandá e de outras madeiras nobres. De um total de aproximadamente 1,3 milhão de quilômetros quadrados da Mata Atlântica primitiva, resta apenas cerca de 50 mil km², menos de 5% da área original (IBAMA, 2003). O desmatamento se acentuou a partir de 1920, após o término da 1ª Grande Guerra, com a vinda de imigrantes, especialmente da Europa. Além da derrubada das árvores da Mata Atlântica, ocorreu a destruição dos pinheirais da região Sul do País. Os carvoeiros e lenhadores avançaram com a derrubada de árvores, não respeitando as restrições legais de matas nativas, de proteção das nascentes, limites das margens dos cursos d'água, encostas com declives acentuados e topos de morros. Árvores, como peroba, foram extintas sem o devido aproveitamento da madeira, apenas para utilização da área para plantações de café. As áreas desmatadas da Floresta Amazônica, da Mata Atlântica e do Cerrado somam 2,5 milhões de km² (250 milhões de hectares), quase 30% do território brasileiro (IBAMA, 2003). Os técnicos florestais estimam que o desmatamento em todo o território seja superior a 300 milhões de hectares de matas.

O desmatamento e as queimadas da região Amazônica constituíram as mais sérias preocupações dos ambientalistas nas últimas décadas, por acarretar desequilíbrios imprevisíveis ao ambiente, com conseqüências desconhecidas. O desmatamento ocorre principalmente para a extração ilegal de madeira, uso alternativo do solo, sobretudo para a formação de pastagens e plantios agrícolas. Na Amazônia, a maior das florestas primárias remanescentes, somente nos últimos quatro anos, houve desmatamento de mais de 77 mil km², ou seja, uma área um pouco maior do que os Estados do Rio Grande do Norte e Sergipe juntos. A maior causa de desmatamento em Minas Gerais e a segunda maior em estados como Goiás, Mato Grosso do Sul e Bahia é devido às

indústrias de ferro-gusa, representado pelo consumo de carvão vegetal fabricado com florestas nativas (AMDA, 2006).

6.2.3 Florestas Plantadas

As florestas plantadas no Brasil ocupam uma área aproximada de 5,74 milhões de hectares, o equivalente a 0,6% do território nacional. O Brasil destaca-se como o sétimo país em plantio de florestas, com 3% do total mundial. O Japão tem florestas plantadas em 25% de seu território, a China em 8%, a Rússia em 11% (Teixeira, 2007). Segundo a AMS, Associação Mineira de Silvicultura (2004), o Brasil é um dos poucos países onde há possibilidade de ampliação da área de plantações florestais, sem competir com a produção de alimentos, além de possuir a maior produtividade florestal do mundo. Na figura 10 é mostrada a relação da produtividade e do custo da madeira, comparando alguns países no mundo. Conforme mostrado, o Brasil possui a maior produtividade e o menor custo da madeira.

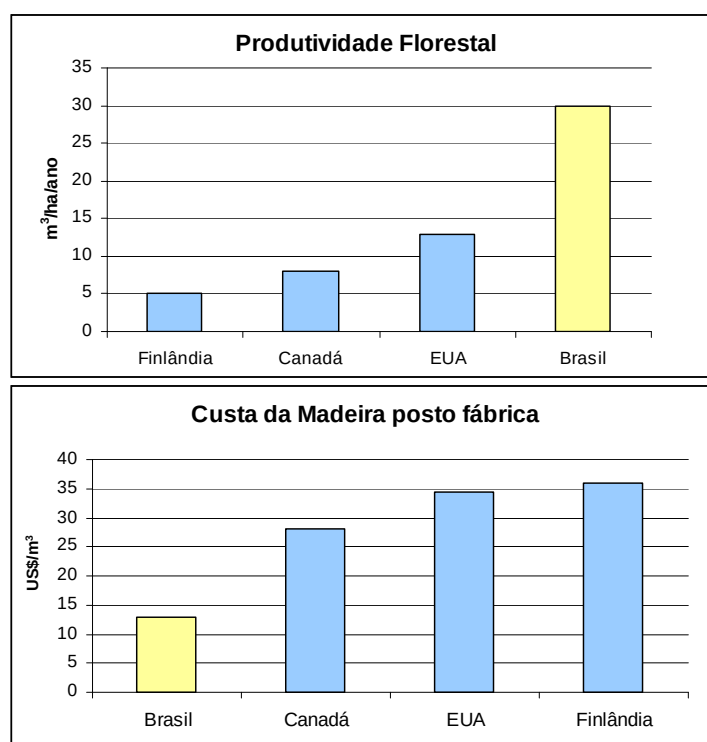


Figura 10 – Produtividade e custo da madeira
Fonte AMS - 2004

As florestas plantadas no Brasil são predominantemente formadas pelos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Scarpinella, 2002), correspondendo a aproximadamente 1,8 e 3,5 milhões de hectares respectivamente (ABRAF, 2007) em 2006. Minas Gerais se

destaca como a maior área reflorestada com 1,2 milhão de hectares, ou 23% das plantações florestais do Brasil (ABRAF, 2007). Em Minas Gerais, a maior parte dos plantios destina-se à siderurgia a carvão vegetal (16%) e produção de celulose (79%). Durante o ano de 2006, foram plantados no Brasil 627 mil hectares de floresta, que representa um crescimento de 13% em relação a 2005 (MMA, 2007). Apesar do crescimento da área total de plantio, dados da ABRAF de 2006 estimam que, para 2010, para atender o crescente parque guseiro, seja necessária a produção de 53 milhões de mdc (metros cúbicos de carvão). A produção brasileira de carvão vegetal oriundo de plantios florestais atingiu em 2006 apenas 18 milhões de mdc. A AMS identificou em 2004 um déficit florestal de 57,9 mil hectares, sendo o setor de ferro-gusa o de maior déficit, 52,2 mil hectares.

As plantações florestais cresceram na década de 70 com a crise do petróleo. Em 1967, foi iniciado o Programa de Incentivos Fiscais para o reflorestamento, sobre a Lei 5.106, que durou até 1988, e reflorestou 6 milhões de hectares, sendo 3 milhões em Minas Gerais (Couto *et al.*, 2001). Com o fim dos incentivos, as florestas plantadas diminuíram drasticamente. Em 1989, um decreto determinou que todas as indústrias consumidoras em grande escala de madeira fossem responsáveis pelas suas próprias fontes. Porém, houve uma tendência de não se atender o decreto, já que o consumo continuou a aumentar e a área de plantação declinou de 6,5 milhões de hectares em 1992 para 4,8 milhões em 1998 (Reis, IPEF *apud* Plantar, 2007). O declínio das plantações acompanhou um aumento no desmatamento de florestas nativas.

Em 17 de dezembro de 1991 foi criada a Lei Florestal do Estado de Minas Gerais, nº 10.561, que tem a finalidade de controlar a exploração, a utilização e o consumo dos subprodutos florestais e desenvolver ações com vistas a suprir a demanda por estes produtos. Quando foi criada, as empresas tornaram-se obrigadas a atingir o auto-suprimento pleno da matéria-prima proveniente de florestas, no prazo de cinco a sete anos. No ano de 1992, as empresas poderiam utilizar no máximo 70% de matéria-prima de origem nativa, comprometendo-se a reduzir essa proporção ao longo do período. Em 1999, em Minas Gerais, outra lei determinava que as companhias pudessem utilizar 10% do seu consumo anual em floresta nativa. Os outros 90% poderiam ser baseados em floresta nativa, desde que fossem pagas as taxas de restituição florestal. Nenhuma legislação colocava limites no uso de florestas nativas em

outros estados. Em 2005, o Estado determinou o limite global de utilização máxima de 25,7% de vegetação nativa para produção do carvão vegetal, com o limite de 10% para o pagamento de taxas. Porém, em agosto de 2005, outra portaria revogou o limite máximo de consumo.

O Programa Nacional de Florestas (PNF), decreto nº 3.420, foi criado em 20 de abril de 2000, com o objetivo de estimular o reflorestamento no Brasil. Outros programas de financiamento e incentivos como o PRONAF Floresta, Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar, e o PROPFLORA, Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas, desembolsaram 60,5 milhões de reais para a atividade florestal em 2006. O PROPFLORA foi lançado em 2002, como uma articulação dos ministérios do Meio Ambiente e da Agricultura e do Banco do Brasil, para incentivar a plantação de florestas para o uso industrial e a manutenção de áreas de preservação e de reserva legal. O PRONAF Florestal é uma iniciativa que envolve a articulação de um conjunto de ações do governo em apoio à expansão, conservação e manejo da cobertura florestal dos biomas brasileiros, sendo um dos seus instrumentos, o programa de financiamento ao produtor familiar. O fomento florestal é um incentivo à produção de madeira através do fornecimento de mudas, assistência técnica e insumos a produtores rurais cadastrados ligados ao IEF-MG. Os projetos são executados pelos próprios produtores em suas terras, utilizando mão-de-obra própria. O IEF incentiva três modalidades de programas de Fomento de Florestas de Produção: fomento para reposição florestal, social e plantio de florestas de proteção com espécies nativas.

No Brasil, em torno de 50% da madeira utilizada para a produção de carvão vegetal ainda vem de mata nativa (Plantar, 2007). Os dados de 2003 divulgados pelo IEF mostram que as indústrias de ferro-gusa consumiram 935.010,82 mdc de origem nativa, número que quase triplicou em 2004, passando para 2.439.572,71 mdc. Os mesmos dados indicam que um terço do total de cerca de 60 empresas consumiu, em 2004, mais de 90% de carvão nativo no processo industrial (AMDA, 2006). Na figura 11 é apresentada a diminuição do consumo de florestas plantadas e o aumento do consumo de florestas nativas de 1997 a 2003. Segundo o Ministério Público Federal, pelo menos 50% do cerrado de Minas Gerais foi degradado nos últimos 20 anos para atender à demanda da indústria de carvão vegetal (Plantar, 2007). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (Plantar, 2007), o Brasil encara um déficit total de

plantações florestais de 200.000 ha/ano, aproximadamente 40% da demanda do País em 2004.

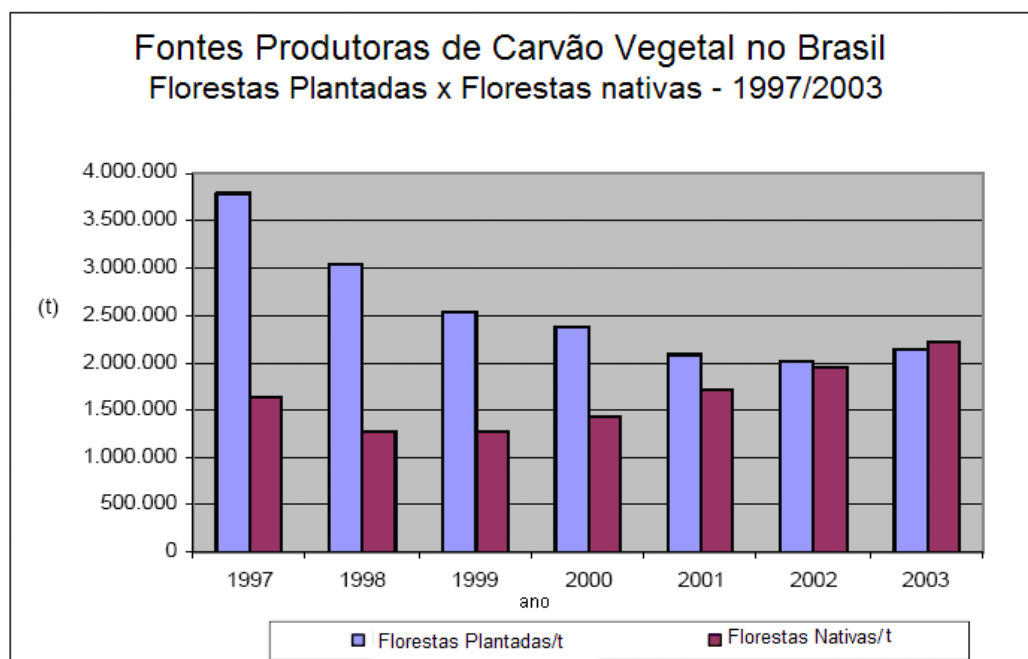


Figura 11 – Florestas nativas e plantadas para produção de carvão vegetal
Fonte: IBGE, 2003 *apud* Plantar, 2007.

6.2.4 Florestas de Eucalipto

O eucalipto é uma espécie originária da Austrália. Sua introdução na Europa ocorreu por volta de 1774, na Índia em 1843, África do Sul em 1828, Chile em 1823 (Scapinella, 2002). No Brasil, o gênero *Eucalyptus* foi introduzido em 1825. Sua utilização com finalidade econômica iniciou-se em 1903 para as estradas de ferro, produção de lenha e carvão. Navarro de Andrade foi um dos primeiros engenheiros a observar as vantagens do eucalipto em comparação a várias outras espécies, especialmente em relação à produtividade. A partir de 1940, foram estabelecidas plantações em regiões de minério de ferro como alternativa energética para substituir o coque no processo de produção do ferro-gusa. O crescimento das plantações se deu com a Lei dos Incentivos Fiscais em 1967, juntamente com a crise do petróleo. Com o fim dos incentivos, as plantações voltaram a decrescer. Hoje, o mercado de carbono demonstra ser uma nova fonte de receita e incentivo para as futuras ampliações das plantações florestais.

6.2.4.1 Características do Eucalipto

As espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* representam 55%, 17% e 9% de todo o eucalipto plantado em escala comercial no Brasil (Scarpinella, 2002). As diversas espécies de eucalipto são conhecidas como árvores típicas de florestas altas (30 e 50 m). Para a produção de carvão, a cultura é submetida a um ciclo curto de aproximadamente 7 anos, permitindo-se, em geral, ainda mais dois ciclos, quando se torna necessária a reforma da área. As mudas para plantio devem apresentar mais de 2,5 cm de caule, 20 a 30 cm de altura (Couto *et al.*, 2001). O cultivo do eucalipto é feito em duas etapas: implantação (escolha da área, preparação do solo, abertura de covas, adubação, escolha da variedade mais adequada, plantio e irrigação) e manutenção (irrigação, capina manual ou mecânica, desbaste, desgalhamento, controle de pragas e doenças e adubação). A colheita é feita manual ou mecanizada dependendo do tamanho e condições da área. As condições ambientais favoráveis e o emprego de modernas técnicas de manejo fizeram com que o Brasil alcançasse os maiores índices de produtividade do mundo para o eucalipto, 41 m³/ha em 2006 (ABRAF, 2007).

Conforme Masuda (1980), o eucalipto se apresenta como uma variedade de excelente qualidade pelas seguintes razões:

- Alta taxa de crescimento;
- Alta resistência;
- Pouca exigência quanto à qualidade do solo;
- Variedade de aplicação (carvão, celulose, etc.);
- Desenvolvido conhecimento das técnicas de plantio.

6.2.4.2 As Plantações de Eucalipto e o meio ambiente

Segundo o SINDIFER (2008), as plantações de eucalipto têm sido alvo de restrições, polêmicas e preconceitos, quase sempre resultantes da desinformação científica. Essa conceituação negativa acaba desestimulando pequenos e médios produtores rurais a praticar o cultivo de eucalipto e contribui para criar a idéia de que a espécie causa degradação ambiental. Durante a expansão florestal promovida pelo Programa de Incentivos Fiscais, a partir 1967, não foi levado em conta aspectos ambientais, resultando em algumas experiências negativas e levando muitos produtores e ambientalistas a condenarem a prática da monocultura de eucalipto (Couto *et al.*,

2001). Xico Grazino no editorial do Jornal SIF (Sociedade de Investigações Florestais da Universidade Federal de Viçosa, 2008) comenta que “inventaram que a árvore trabalha para o mal. No passado amargou a triste fama de secar o solo onde vivia. Agora, imputaram-lhe a sina de causador da miséria.” E conclui ele no mesmo editorial: “Claro estava que são os homens, e não as plantas ou animais, os responsáveis pelas injustiças do mundo”.

A AMS (2004) afirma que, ao contrário do que se fala, as plantações florestais possuem políticas ambientais avançadas e adequadas aos padrões da lei, além de possuir a capacidade de seqüestrar carbono da atmosfera durante o crescimento da floresta. As florestas brasileiras de eucalipto fixam 9,2 toneladas de carbono/hectare/ano, enquanto nos Estados Unidos fixam 3,5 toneladas e na Suécia 1,5 tonelada. Cada tonelada de ferro-gusa produzido com carvão vegetal captura 890 kg de gás carbônico e deixa na atmosfera um saldo de 203 kg de oxigênio (AMS, 2004).

Pesquisas comprovam que o eucalipto não apresenta comportamento ambiental diferente de outras espécies arbóreas (AMS, 2004). Estudos demonstram que a maior concentração de nutrientes encontra-se nas folhas, galhos e manta orgânica. Após a colheita da madeira (hoje feita sem a movimentação intensiva da terra e posterior queima da matéria orgânica), essas partes permanecem no campo, enriquecendo o solo em matéria orgânica e nutrientes minerais. Em Portugal, inúmeras áreas cultivadas com eucalipto por períodos entre 30 e 50 anos foram convertidas em vinhedo com excelentes resultados (CAF, 2007). O solo fica muito mais empobrecido com plantio de culturas de ciclo curto, como soja, café e milho. O eucalipto não empobrece o solo mais que as lavouras e pastagens, pelo contrário, são os sistemas que mais se aproximam das florestas nativas (SIF, 2008).

Outra concepção equivocada, segundo a AMS (2004), diz respeito ao consumo excessivo de água pelo eucalipto. Estudos desenvolvidos na Universidade de São Paulo indicam que o consumo total de água da espécie situa-se dentro da faixa de consumo das árvores nativas e muito inferior às culturas agropecuárias. Com 1 litro de água, o *Eucalyptus grandis* é capaz de produzir 2,9 gramas de madeira, sendo que uma espécie do cerrado produz apenas 0,4 gramas. Outra teoria explica que, em muitos casos, as plantações de eucalipto são feitas em áreas anteriormente utilizadas para pastagem, que com a retirada da vegetação tiveram o lençol freático rebaixado e o

posterior ressecamento da terra. O reflorestamento com espécies de eucalipto, como toda cobertura florestal, tem ação benéfica sobre o solo, oferecendo proteção contra erosão e melhorando as condições de infiltração de água para lençol subterrâneo (AMS, 2004).

Já se acusou o eucalipto de produzir substâncias inibidoras da germinação e do crescimento de outras espécies. Segundo FISCHER (citado por Lima *apud* Scarpinella, 2002), algumas espécies possuem substâncias alelopáticas⁽²⁾, tais como, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. rostrata*, *E. pilularis*, *E. microteca* e *E. hybrid*. Nenhuma destas espécies está entre as mais cultivadas no Brasil. Culturas de aveia, trigo, fumo, cevada também apresentam o efeito alelopático (Scarpinella, 2002). Além da alelopatia, a inibição pode ocorrer em plantios densos, que não permitem a penetração da luz solar. Plantios tecnicamente corretos registraram a presença de um intenso sub-bosque nas florestas de eucalipto, especialmente de capim, permitindo, a criação consorciada de gado.

Outro aspecto polêmico relacionado à cultura do eucalipto é a redução da biodiversidade promovida pela implantação de uma monocultura. Uma monocultura realmente provoca alterações na flora e na fauna, reduzindo a biodiversidade (Scarpinella, 2002). Se cuidados forem tomados, os efeitos negativos podem ser evitados e a fauna remanescente pode conviver de forma harmônica, adaptando-se ao novo habitat.

A produção de madeira significa proteção da floresta nativa. Segundo a AMS (2004), cada hectare de eucalipto plantado permite a preservação de até cinco hectares de cerrado. Segundo a Assembléia Legislativa de Minas Gerais (*apud* AMS, 2007), o plantio de eucalipto em área degradada representa: “um fator de recomposição do solo e melhoria da permeabilidade, criação de ambiente ameno para instalação de outras espécies, além de outros benefícios como geração de emprego e renda”.

As empresas, com o intuito de atestar a origem e características de produtos florestais, têm procurado a certificação florestal. A certificação é o reconhecimento e garantia junto aos clientes e à sociedade de que o produto tem origem em florestas manejadas, com base sustentável quanto aos aspectos ambientais, sociais e econômicos. No Brasil existem atualmente dois sistemas de certificação florestal em operação: Forest Stewardship Council (FSC) e o Certificado nacional de Qualidade ambiental de

⁽²⁾ Alelopatia é a capacidade de as plantas, superiores ou inferiores, produzirem substâncias químicas que, liberadas no ambiente de outras, influenciam de forma favorável ou desfavorável o seu desenvolvimento.

Florestas (CERFLOR), com aproximadamente 5,7 milhões de hectares certificados em 2006.

6.2.4.3 Aspectos Sócio-Econômicos

O complexo industrial florestal integrado para produção de carvão vegetal, certamente, causará impactos de natureza social. Masuda (1980) ressalta que o desenvolvimento e uso dessas tecnologias possibilitam:

- Melhoria do padrão de vida do habitante rural;
- Melhoria na produtividade agrícola e aumento da disponibilidade de alimentos;
- Redução do consumo de certos recursos naturais, em particular à cobertura vegetal arbórea nativa;
- Atenuação dos problemas decorrentes da migração para centros urbanos pela melhoria do padrão de vida na área rural.

Segundo o AMS (2004), os grandes projetos florestais promovem o aumento na receita municipal, melhoria na infra-estrutura rural (construção, manutenção de estradas e melhoria do sistema de comunicação) e o favorecimento da dinâmica da economia regional. A AMS também afirma que o setor florestal possui uma grande capacidade de gerar e multiplicar postos de trabalho. Nas regiões onde as atividades do setor de base florestal estão presentes, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) teve crescimento superior à média estadual. O setor de florestas desenvolve importantes ações de responsabilidade social e de proteção ambiental. As empresas associadas à AMS têm promovido desenvolvimento e crescimento nas comunidades locais, com a expansão do emprego formal, assistência médica, apoio educacional e lazer.

6.2.5 Quantificação do carbono em uma Floresta de Eucalipto

Quantificar o carbono em uma floresta é muito complexo, pois envolve fatores externos como a variação do clima, o perfil do solo, a temperatura local e o tipo de vegetação. Para florestas de eucalipto essa quantificação se torna um pouco mais simples por se tratar de uma monocultura, com produtividade homogênea. Porém algumas variáveis ainda continuam como solo, clima e temperatura.

Um experimento em grande escala foi realizado na Amazônia com o objetivo de medir o fluxo de carbono na floresta. Conhecido como Experimento de

Grande Escala da Biosfera-Atmosférica na Amazônia (LBA- Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) envolveu pesquisadores da América Latina, Estados Unidos e Europa e custou em torno de US\$ 80 milhões. Sensores foram colocados no topo de doze torres a 55 metros de altura, para medir dez vezes por segundo a concentração de CO₂ que circula na região. Acreditava-se que a floresta Amazônica seqüestrava de 5 a 8 toneladas por hectare de carbono anualmente. Uma nova revisão deste número indica uma redução para 2 toneladas anuais. Um dos coordenadores do projeto LBA acredita que esse valor esteja até próximo de zero. A explicação é que as florestas, quando atingem o equilíbrio, têm o balanço praticamente nulo em relação à entrada e saída de carbono de sua biomassa, ou seja, a quantidade seqüestrada durante o dia no processo de fotossíntese é a mesma que é liberada durante o processo de respiração. O mesmo não é válido para florestas em desenvolvimento, onde a absorção de carbono é maior até que se atinja a maturidade, que é variável de acordo com a espécie envolvida.

Para estimativa de fitomassa de uma floresta existem métodos que vão desde análise destrutiva e não destrutiva, até métodos estatísticos com processamento digital de imagens fornecidas por satélite. De acordo com Ministério da Ciência e Tecnologia (2008), a quantidade total de carbono em uma árvore pode ser dividida em: 65% no tronco, 13% na copa, 22% na raiz. O tronco corresponde a mais da metade da biomassa de uma floresta, porém desprezar a copa e as raízes é um desperdício, apesar das dificuldades encontradas para aferição e comprovação dos seus conteúdos de carbono. Em geral, as madeiras do gênero *Eucalyptus* são constituídas basicamente de 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina. Os elementos que constituem a composição elementar da madeira seca, considerada constante, de maneira geral são 50% de carbono, 44% de oxigênio, 6% de hidrogênio (Scarpinella, 2002).

6.2.6 Avaliação Econômica da Floresta de Eucalipto

Scarpinella (2002), em seu trabalho Reflorestamento no Brasil, demonstrou a viabilidade de um projeto florestal para o MDL, servindo como exemplo uma cooperativa agrícola de Botucatu, estado de São Paulo. Os custos da cultura florestal foram baseados em dados cedidos pela empresa Aracruz Celulose S.A. O custo considerado para implementação do MDL foi US\$ 60.000/projeto, o valor pago pela tonelada do carbono para projetos florestais foi de US\$ 4 a 7, com o câmbio de 1 dólar

igual a 2,35 reais. O estudo foi elaborado em 2002, antes que o Protocolo de Quioto fosse ratificado. Foram contabilizadas 34,72 toneladas de biomassa por hectare devido às condições de produção e perdas do processo, sendo 50% de carbono equivalente da biomassa. Em um total de 9.500 hectares, no final do ciclo de 14 anos, foi encontrado um montante de 164.920 toneladas de carbono por ano fixadas para comercialização em forma de créditos de MDL. O projeto mostrou-se economicamente viável tanto para as plantações com a participação dos créditos do MDL, como sem a contabilização dos créditos. Para áreas menores não foi viável o emprego do MDL, devido aos custos de transação. Segundo Scapinella (2002), o preço baixo da tonelada de carbono pode ditar a viabilidade do projeto florestal e a inclusão no MDL pode auxiliar economicamente a viabilidade do mesmo.

Scapinella (2002) concluiu em seu trabalho que o Brasil tem plenas condições de desenvolvimento de projetos florestais com espécies de *Eucalyptus* para fins de MDL, por suas características de clima, solo e extensão territorial. Há ainda, em desenvolvimento, estudos de melhoramento genético e produtividade para a espécie, facilitando as condições naturais. As cooperativas podem ser uma opção para a implementação de projetos florestais, devido ao ganho em escala, disposição de mão-de-obra e a oferta de trabalho. Somente um décimo da produção total do projeto destina-se à comercialização de créditos, demonstrando o baixo rendimento final, se comparado com a produção de biomassa total gerada. As atividades florestais para o MDL lidam com dois pontos que ditam o preço do carbono e a viabilidade do projeto: permanência do carbono e riscos do projeto. A comercialização do carbono pode viabilizar os custos de implantação do reflorestamento e permitir o ingresso de pequenos produtores na atividade florestal, através de cooperativas. O mercado de carbono é uma fonte de receita para ampliação da base florestal, tornando-o viável economicamente. O valor advindo da venda do carbono pode ser comparável ao incentivo fiscal no passado, um recurso importante para ampliação de novas áreas florestais. Segundo Paiva (2001), a tendência no setor florestal é trabalhar na redução dos custos, uma vez que a produtividade dos plantios atuais já alcança altos índices. O mercado de commodities ambientais, associado às tendências de custos menores na produção florestal, cria expectativas favoráveis aos consumidores de matérias-primas e energéticos de origem

florestal. Paiva (2001) afirma ainda que estes fatores têm maior eficiência na ampliação de reflorestamentos para fins produtivos, quando comparado à Legislação Florestal.

6.2.7 Área necessária para suprir carvão vegetal com florestas plantadas

Segundo a ABRAF é preciso uma pequena área para atender à necessidade de madeira do País. Com apenas 3% do território mineiro reflorestado, é possível atender à demanda de todo o eucalipto do Estado.

O cálculo abaixo tenta demonstrar a área necessária para suprir 100% do carvão vegetal com florestas plantadas no Brasil. Estes cálculos foram baseados em entrevista realizada por um especialista da área (Scherer, 2007) e confirmados nas literaturas consultadas.

1. Total da produção de ferro-gusa no estado de Minas Gerais em 2005: 16.052.000 t de ferro-gusa (Usinas integradas = 10.254 mil t + produtores independentes = 5.798 mil t)
2. Consumo específico de carvão para produção de gusa: 3 mdc/t
3. Consumo total de carvão vegetal: 3 mdc/t x 16.052.000t = 48.156.000 mdc
4. Consumo específico de madeira para produção de carvão: 2 st/mdc
5. Quantidade total necessária de madeiras: 2 st/mdc x 48.156.000 mdc = 96.312.000 st
6. Produção Florestal específica: 50 st/ha/ano
7. Total de produção florestal necessária: 96.312.000 st / 50 st/ha/ano = 1.926.240 ha/ano plantados
8. Cada hectare plantado necessita de uma área adicional de 43-67% para reservas, lagos, matas ciliares, corredores ecológicos, acessos, etc. Considerado de forma conservativa o valor de 67% tem-se uma área total necessária 1.926.240 ha/ano x 1,67 = 3.216.821 ha ou 32.168 km².
9. A área total do território de Minas Gerais é de 590.000 km², o que significa que 32.168 km²/590.000 km² = 0,0545 ou 5,45% da área do Estado de Minas Gerais.

Os valores considerados nos cálculos são conservativos, e tecnologias empregadas atualmente conseguem facilmente maiores performances. Com o desenvolvimento tecnológico do setor, através de estudos de melhoramento genético de

sementes, otimização dos parâmetros técnicos que intervêm na produtividade, melhoria das técnicas de fertilização e preparo do solo, etc. podem-se atingir índices ainda melhores. Os valores de 2,8 mdc/t de gusa (fonte SINDIFER, 2008), 1,8 st/mdc e 60 st/ha/ano são facilmente atingidos. Aplicando estes índices nos cálculos encontra-se 22.518 km^2 ou $22.518/590.000 = 0,0382$ ou 3,82% da área do Estado de Minas Gerais.

Para as condições de produção do total do ferro-gusa brasileiro, ou seja, uma produção de 35.571.000 t de ferro-gusa em 2007 (IBS, 2008), encontra-se uma área total necessária de 71.284 km^2 , ou seja, menos de 1% do território nacional se todo o ferro-gusa fosse produzido com carvão vegetal. As tabelas de cálculo encontram-se no Apêndice A.

Os cálculos mostrados foram executados sem levar em conta a queda de produtividade entre o 1º, 2º, 3º corte, praticado de 7 em 7 anos. Levando em conta estes fatores, haverá um aumento da área necessária devido a esta perda de produtividade. Segundo a Plantar (2007), a produtividade decresce em torno de 90% para a segunda e 80% para a terceira colheita.

6.3 Destaques dos dados da literatura

O Brasil possui aproximadamente 14% dos 4 bilhões de hectares das florestas mundiais, com 538,7 milhões de hectares em 2006. O desmatamento já atingiu cerca de 300 milhões de hectares, ou seja, 35% do território nacional, que tem aproximadamente 846 milhões de hectares (FAO, 2007). As queimadas e o desmatamento ilegal na região da Amazônia têm sido alvo de constantes debates mundiais, com o objetivo de proteção da maior floresta primária remanescente. O setor de ferro-gusa também tem contribuído para o desmatamento das florestas nativas brasileiras.

Ao mesmo tempo, as florestas plantadas têm crescido no Brasil, com um aumento de 13% de 2005 para 2006, com 5,7 milhões de hectares. Em 2005, o Brasil era o nono maior produtor de florestas, em 2007 foi o sétimo. O custo de produção é um dos menores e a produtividade florestal é uma das maiores do mundo. As plantações florestais no Brasil são principalmente do gênero Pinus e Eucalipto, sendo o setor de maior consumo o de papel e celulose seguido pela siderurgia. O déficit de produtos florestais ainda é alto, indicando significativo consumo de madeira nativa (cerca de 50% para a siderurgia). Vários programas do governo foram criados com intuito de

incentivar a produção florestal e diminuir o consumo de madeira de florestas nativas. Porém, segundo a Plantar (2007), as tendências estão longe de resolver o déficit de fornecimento de madeira. Além das vantagens econômicas do uso de fontes nativas, ainda disponíveis no Brasil, em comparação com os investimentos e a manutenção sustentável de plantações de árvores por longos períodos, existe a falta de recursos governamentais para expandir e reforçar a supervisão, inspeção e cumprimento das leis, falta de financiamentos apropriados e políticas adequadas a longo prazo, altas taxas de juros, políticas ambientais complexas. Programas como PNF, PRONAF e PROPFLORA estão atualmente disponíveis. Segundo a Plantar (2007), estes recursos são limitados e, na maioria das vezes, são destinados principalmente para a produção em pequena escala, como é o caso do PRONAF e do PROPFLORA.

O eucalipto, originário da Austrália, se adaptou facilmente ao Brasil, possuindo hoje os maiores índices de produtividade do mundo de 41m³/ha em 2006. Os preconceitos às plantações de eucalipto são frutos de desconhecimento científico. Ficou demonstrado que a espécie não apresenta comportamento ambiental diferenciado. Apesar de ser uma monocultura, não torna a terra infértil para uso. A planta utiliza água na proporção considerada normal para florestas e inferior às culturas agrícolas. Algumas espécies possuem características alelopáticas, porém, na maioria dos casos, não existe a inibição de sub-bosques, se o plantio for feito conforme técnicas adequadas. Apesar de ser uma monocultura, são os sistemas que mais se aproximam das florestas nativas, além de ajudar a evitar o desmatamento. Muitas empresas estão certificadas, permitindo, desta forma, conhecer quais as que produzem madeira de forma sustentável.

O setor florestal também contribui para a melhoria das condições de vida das populações locais, aumentando a dinâmica da economia regional e contribuindo com o aumento do IDH. Muitas empresas, principalmente as ligadas a ABRAF, têm programas de desenvolvimento e crescimento da comunidade do local do plantio.

O carbono das florestas de eucalipto está presente no tronco, copa e raízes, porém apenas o tronco é utilizando comercialmente. A madeira, em base seca, tem 50% de carbono. Segundo a AMS, as florestas brasileiras de eucalipto fixam 9,2 toneladas de carbono/hectare/ano, valor muito superior às florestas em outros países.

Foi apresentada uma situação na qual a implementação de projetos florestais é economicamente viável. Os incentivos do MDL ajudam na viabilidade do

empreendimento, especialmente se pequenos produtores se juntarem em cooperativas, aumentando a escala do negócio. O preço do carbono afetará intensamente a viabilidade das plantações florestais. Paiva (2001) considera os incentivos do MDL mais eficientes na ampliação do reflorestamento para fins produtivos, que as legislações Florestais e incentivos governamentais.

O cálculo da área necessária para suprir 100% da produção brasileira de ferro-gusa de 2006 foi de 71.284 km², ou seja, 0,84% do território nacional. A área será em torno de 10 a 20% maior para o período da 2^a e 3^a colheita respectivamente, devido ao decréscimo de produtividade.

7 CARVÃO VEGETAL *VERSUS* COQUE

7.1 Objetivo Específico

Comparar as propriedades físicas e químicas do carvão vegetal com as do coque e suas utilizações nos altos-fornos, objetivando demonstrar a possibilidade de substituição de um pelo outro. Comparar fatores econômicos e viabilidade dos dois combustíveis.

7.2 Apresentação dos dados da literatura

7.2.1 Propriedades do carvão vegetal e do coque

O combustível utilizado no alto-forno para produção do ferro-gusa pode ser o carvão vegetal ou o coque. O carvão vegetal, de uma maneira geral, é utilizado no Brasil pelas usinas independentes de ferro-gusa e o coque pelas grandes usinas integradas. Ambos, apesar de serem fontes de carbono, possuem diferenças básicas nas suas propriedades, que influenciam no processo que os utilizam. As características do carvão vegetal e do coque podem ser vistas na tabela 3.

Tabela 3 – Características do carvão vegetal e do coque

Item	Unidade	Carvão Vegetal	Coque
Carbono fixo	%	65 - 75	~ 88%
Materiais voláteis	%	25 - 35	~1%
Cinza	%	2 - 5	10 - 12
Enxofre	%	0,03 - 0,10	0,45 - 0,70
Composição da cinza			
SiO ₂	%	5 - 10	50 - 55
CaO	%	37 - 56	4 - 5
MgO	%	5 - 7	4 - 5
Al ₂ O ₃	%	2 - 12	25 - 30
Fe ₂ O ₃	%	6 - 13	5 - 7
P ₂ O ₅	%	8 - 12	0,4 - 0,8
K ₂ O	%	15 - 25	2 - 4
Na ₂ O	%	2 - 3	1 - 3
Resistência à compressão	kg/cm ²	10 - 80	130 - 160
Faixa granulométrica	mm	9 - 100	25 - 75
Densidade	kg/m ³	180 - 350	550
Reatividade		Maior	Menor

Fonte: JACOMINO *et al*, 2002.

O carvão vegetal tem origem na carbonização da madeira e tem teor de carbono fixo na faixa de 65 a 75%, enquanto o coque é proveniente do carvão mineral e

tem aproximadamente 88% de carbono fixo. Outra diferença a se considerar é o teor de material volátil, que para o carvão vegetal é de 25 a 35% e para o coque é de 1%. No entanto, para o teor de cinzas, a situação se inverte com 2 a 5% para o carvão vegetal e 10 a 12% para o coque. A cinza do carvão vegetal tem uma grande concentração de álcalis (K_2O , Na_2O) e fósforo e o coque possui alto teor de enxofre e sílica. Devido a sua baixa resistência mecânica, a utilização do carvão vegetal em alto-forno de grande porte é considerada, nos dias de hoje, inviável. Os altos-fornos a carvão vegetal produzem até 1.200 toneladas por dia, enquanto os altos-fornos a coque podem produzir até 12.000 toneladas por dia. O alto-forno a coque trabalha com um maior peso de escória, podendo chegar a 300 kg/t de gusa, devido ao seu alto teor de cinzas. Se compararmos com um alto-forno a carvão vegetal, o peso da escória é da ordem de 150 kg/t de gusa. Além disso, em um alto-forno a coque, a escória é básica, devido ao alto teor de enxofre a ser incorporado ($CaO/SiO_2 > 1$). Já o carvão vegetal possui muitos álcalis, sendo necessária uma escória ácida ($CaO/SiO_2 < 1$) para sua remoção. O ferro-gusa do alto-forno a coque possui mais enxofre e o do alto-forno a carvão vegetal tem mais fósforo. Na tabela 4 tem-se uma comparação entre os altos-fornos a coque e a carvão vegetal.

Tabela 4 – Comparação entre alto-forno a carvão vegetal e a coque

	Carvão Vegetal	Coque
Produção	40 a 1.200 t/d	2.000 a 12.000 t/d
Diâmetro do Cadinho	1,5 a 6 m	8 a 14 m
Altura do alto-forno	~16 m	~32m
Regeneradores	Cowpers e Glendons	Cowpers
Produtividade	1,6 a 2 t/dm ³	> 2t/dm ³
Volume de escória	100 a 150 kg/t gusa	250 a 300 kg/t gusa
Gusa	%Si variável	% Si<1
	Fósforo Alto	Enxofre alto
CaO/SiO₂ - Escória	< 1	> 1
Carga metálica	Pode ser 100% de minério granulado	Presença de Sinter e/ou Pelota
Composição típica da escória	CaO = 40%, SiO ₂ = 45% Al ₂ O ₃ = 12%, MgO = 2% Outros = 1%	CaO = 45%, SiO ₂ = 35% Al ₂ O ₃ = 12%, MgO = 5% Outros 3%

Fonte: JACOMINO *et al*, 2002.

7.2.2 Carvão mineral e coque aplicados à siderurgia

O carvão mineral é originado de uma massa compacta estratificada de matéria vegetal, cujo processo de decomposição foi interrompido por resultado de uma

ação geológica. Devido ao seu processo de formação, o carvão não é uma substância uniforme. A porcentagem de umidade, voláteis, carbono fixo, cinzas, hidrogênio, nitrogênio, enxofre variam consideravelmente e sempre são analisadas para identificação e classificação do carvão. A turfa, de baixo conteúdo carbonífero, constitui um dos primeiros estágios do carvão, com teor de carbono na ordem de 45%; o lignito apresenta um índice que varia de 60 a 75% de carbono fixo; o carvão betuminoso (hulha), mais utilizado como combustível, contém cerca de 75 a 85% de carbono; e o mais puro dos carvões, o antracito, apresenta um conteúdo carbonífero superior a 90%.

O carvão nacional apresenta uma intercalação de material argiloso e presença de nódulos de pirita, que são responsáveis pelo seu alto teor de cinza (JACOMINO *et al.*, 2002). As reservas nacionais localizam-se na região Sul (Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina) totalizando cerca de 32,33 bilhões de toneladas, sendo 10,08 bilhões de toneladas medidas (1,1% das reservas mundiais) e 22,24 bilhões de toneladas estimadas (BEN do MME, 2007). As reservas mundiais são da ordem de 909 bilhões de toneladas, considerando apenas as reservas medidas. A Ásia Pacífica tem as maiores reservas com 296,9 bilhões de tonelada, seguida pela Europa e Eurásia com 287,1 bilhões de toneladas, América do Norte com 254,4 bilhões de toneladas, África com 50,3 bilhões de toneladas, América do Sul e Central com 19,9 bilhões de toneladas e o Oriente Médio com 0,4 bilhão de tonelada (BP, 2008). O Brasil produziu em 2006, 136 mil toneladas de carvão metalúrgico e importou 13,4 milhões de toneladas, consumindo 11,3 milhões de toneladas (100% importado) de carvão mineral coqueificável (IBS, 2007). O motivo da baixa produção brasileira é que apenas o carvão metalúrgico de Santa Catarina (sub-betuminoso) é classificado como coqueificável, porém possui elevado teor de cinzas (18-50%) e de enxofre (1,5-2%). Espera-se que novas tecnologias de remoção de impurezas e de combustão eficiente melhorem, no futuro, os índices de aproveitamento do carvão nacional (MME, 2007).

Em termos de participação na matriz energética mundial, conforme o Balanço Energético Nacional (MME, 2007), o carvão mineral foi em 2005, responsável por 25,3% da Oferta Interna de Energia mundial⁽³⁾ e de 40,3% de toda a energia elétrica gerada. No âmbito mundial, apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão mineral ainda é uma importante fonte de energia. As principais razões para isso são a abundância e a distribuição geográfica das reservas; baixos custos e estabilidade

⁽³⁾ A soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação recebe a denominação de Oferta Interna de Energia.

nos preços se comparado a outros combustíveis. No Brasil, o carvão mineral e seus derivados foram responsáveis, em 2007, por 6,0% da Oferta Interna de Energia, com 14,34 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), crescimento de 5,9% em relação a 2006. Porém, o carvão mineral teve um decréscimo de 10,6% para a oferta de energia elétrica, representando apenas 1,3% da oferta brasileira. No Brasil, a energia hidráulica continua com supremacia na matriz de oferta de energia elétrica, representando 85,2% do total.

Os maiores impactos sócio-ambientais do carvão decorrem da sua mineração, que afeta principalmente os recursos hídricos, o solo e o relevo. A atividade de lavra do carvão provoca a emissão de óxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e outros poluentes. No processo de beneficiamento, rejeitos sólidos e material líquido são depositados em barragens ou diretamente em cursos d'água, podendo também prejudicar os lençóis freáticos. Além dos impactos da mineração, a queima de carvão causa graves problemas, devido à emissão de particulados e gases poluentes como dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio (MME, 2007).

O coque é formado pelo aquecimento do carvão mineral, a temperaturas elevadas, na ausência de oxigênio, originando um resíduo sólido e infusível, após a liberação de gases presentes em sua estrutura. Na coqueria, o carvão é carregado em uma das células de uma bateria de fornos, entrando em contato com duas paredes aquecidas, provenientes da combustão de gases em câmaras adjacentes. O calor é transmitido por condução, para o centro da carga, formando isoterms dentro do forno. A perda da umidade ocorre entre 100° C e 200° C, liberando também o metano e gás carbônico. Entre 200° C e 400° C desprende-se o monóxido de carbono e entre 350° C e 450° C começa o primeiro estágio da coqueificação, juntamente com a liberação das primeiras frações de óleos leves. Entre 450° C e 600° C, o material se torna fluido e pastoso, com o rompimento das ligações de oxigênio. Acima de 520° C começam as reações secundárias e o carvão começa a resolidificar, formando o semi-coque. Entre 700° C e 800° C ocorre a decomposição dos naftalenos, compostos aromáticos e fenóis. A última fase do processo ocorre na faixa situada entre 850° C e 1300° C, com eliminação, sobretudo, do hidrogênio. Ao ser desenformado, o coque incandescente (1200° C) é descarregado no interior de um carro que o conduz até a estação de

apagamento, que pode ser por jatos d'água ou à seco. O coque é então levado para peneiramento, britagem e armazenagem. De acordo com Araújo (1997), o coque para ser carregado no alto-forno precisa ser rico em carbono (86% de carbono fixo mínimo), ter baixa umidade (2% máximo), deve ter resistência mecânica e granulometria conveniente (3 polegadas em média) para permitir a permeabilidade dos gases no alto-forno. O controle de processo da coqueria é necessário para atingir estas propriedades.

Segundo BEN (MME, 2007), a indústria de ferro-gusa e aço no Brasil consumiram, em 2006, 8,3 milhões de toneladas de coque, sendo que no total foram produzidos 7,5 milhões de toneladas e importados 1,5 milhões de toneladas. Em 2007 entraram em operação mais duas coquerias no Brasil: a Sol Coqueria, da ArcelorMittal (99%) em parceria com a Sun Coke Internacional (1%), projetada para produzir 1,5 milhão de toneladas de coque por ano; e a coqueria nº 2 da Gerdau-Açominas, com capacidade de 630 mil toneladas por ano. A Sol Coqueria é do tipo *Heat Recovery*, a primeira no Brasil a possuir um processo de recuperação de calor em caldeiras, com produção de vapor e conseqüente produção de energia elétrica. Os fornos trabalham com pressão negativa, o que impede o vazamento dos gases pelas portas (ArcelorMittal, 2008). Esta nova unidade de produção de coque está em fase de validação como um projeto de MDL, e segundo a ArcelorMittal Tubarão, contribuirá para reduzir cerca de 3,4 Mt CO₂ em dez anos. Na figura 12 são mostrados uma foto da Sol Coqueria e de uma coqueria convencional.

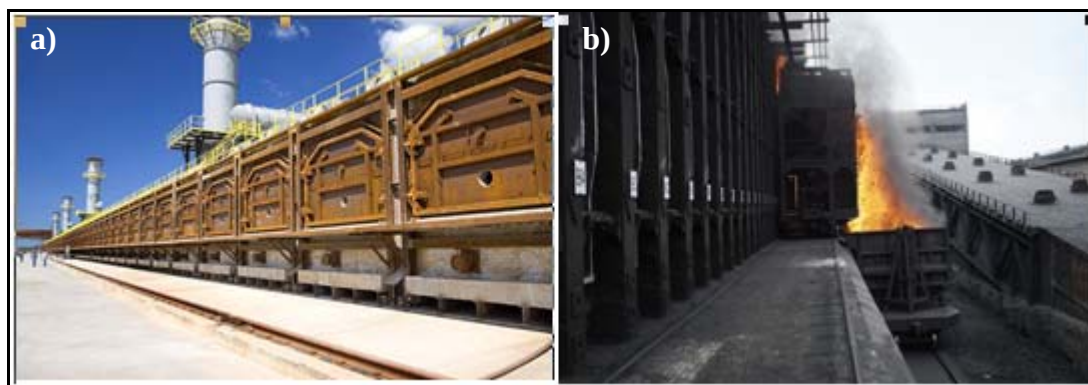


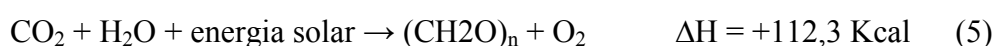
Figura 12: (a) Coqueria *Heat Recovery* da Sol Coqueria e (b) coqueria convencional
Fonte: ArcelorMittal, 2008

7.2.3 A biomassa aplicada à siderurgia

Conforme Masuda (1980), a biomassa tem desempenhado um importante papel no suprimento energético nacional. O Ministério de Minas e Energia (MME,

2007) demonstrou que houve um aumento na demanda total por energia em 2007 com ênfase no uso das fontes renováveis (hidráulica, biomassa e outras). Em 2007, houve um crescimento de 7,2% na energia proveniente dessas fontes, enquanto que as não-renováveis cresceram apenas 3,9%. Com isso, a energia renovável passou a representar 45,8% da Matriz Energética Brasileira em 2007. Masuda (1980) cita que as perspectivas futuras de esgotamento dos combustíveis fósseis colocam a biomassa como uma das mais importantes fontes de energia para o Brasil, devido às condições favoráveis a sua exploração. Para o carvão mineral, o levantamento do potencial se faz através de medições em jazidas descobertas e economicamente exploráveis. No caso do carvão vegetal, por ser oriundo de recursos renováveis, podem ser ampliados, bastando para isso a existência de áreas disponíveis e recursos financeiros.

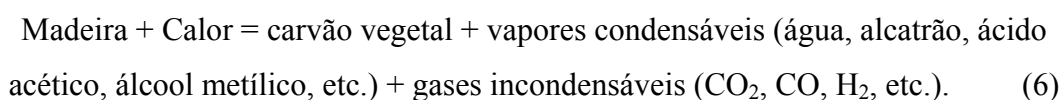
A fotossíntese é um fenômeno natural segundo o qual a energia solar é capturada e armazenada nos vegetais, assumindo a forma de energia química potencial, através de uma reação endotérmica.



A eficiência da fotossintética é da ordem de 21%, porém 25% destes são consumidos no próprio processo. Sendo assim, a eficiência teórica de uma floresta é da ordem de $0,25 \times 0,21 = 0,05$ ou 5%. Para florestas densas, a eficiência cai para 2-2,5%. Masuda (1980) afirma que a avaliação do potencial brasileiro de carvão vegetal, tendo em vista a utilização de vegetação nativa, se torna bastante complicada pelo fato de que vários aspectos devem ser levados em conta. Primeiramente, a exploração não deve conduzir à exaustão das formações vegetais, como tem sido até o momento. Técnicas modernas de exploração sustentada deveriam ser utilizadas, apesar do Brasil não ter experiência neste sistema de produção, que se baseia na capacidade de regeneração da mata. Segundo, nem todas as formações vegetais são passíveis de exploração, como, por exemplo, matas de reservas ambientais, etc. A grande preocupação, então, deve estar relacionada à expansão de florestas plantadas, de espécies de rápido crescimento, que no Brasil tem potencial ilimitado. Masuda (1980) ainda afirma que a floresta plantada é a forma ideal de suprir a demanda energética futura e preservar as nossas reservas naturais necessárias ao equilíbrio ecológico. Outras fontes de madeira legal para a produção de carvão vegetal são as sobras de serraria e desmatamento legalizado visando a expansão da fronteira agrícola.

Para a conversão da biomassa em energia, a combustão direta é o processo tradicional utilizado. São utilizadas também os processos de hidrólise, pirólise e digestão anaeróbica. Na hidrólise a madeira é convertida em combustível líquido em um digestor, onde os carboidratos (celulose) são hidrolisados em açúcares pela solução ácida, que após a ação das leveduras, se transformam em álcool e CO₂. Na pirólise ocorre a destilação por aquecimento da matéria orgânica a altas temperaturas e com controle da atmosfera de oxigênio. Na digestão anaeróbica, a matéria orgânica é convertida, pela ação das bactérias, em metano e CO₂, na ausência de ar.

A fabricação do carvão vegetal é feita mediante a pirólise da madeira, onde ocorre a quebra das moléculas em outras mais simples, mediante a aplicação de calor, e ausência de oxigênio. A reação de produção de carvão vegetal pode ser representada, esquematicamente, por meio da equação 6.



É possível produzir carvão vegetal com maior aproveitamento da madeira. O processo pode além de produzir o carvão, processar os voláteis para a obtenção de produtos químicos. Além disso, é possível utilizar os voláteis na produção de combustíveis ou, na produção de energia elétrica. No Brasil, praticamente todas as instalações existentes estão projetadas para aproveitamento somente do carvão vegetal, jogando no ar, os gases e vapores produzidos no processo (Masuda, 1980). O aproveitamento maior da floresta também pode ajudar a aumentar o rendimento da carbonização. Normalmente, o balanço energético considera que, dos resíduos gerados, apenas 50% dos finos são reaproveitados no processo, resultando na utilização de somente 53% do potencial energético da floresta. O aproveitamento dos resíduos florestais e finos do carvão vegetal na carbonização, com utilização de fornos com câmara de combustão, resulta em um aproveitamento de 73% do potencial energético da floresta. Uma terceira possibilidade visa o aproveitamento integral da floresta, com a combinação de dois processos (pirólise e hidrólise), e sem consumo de combustível fóssil (gasolina, diesel). O processo produziria carvão e uma grande quantidade de etanol (28 x 10⁶ litros para 235.000 hectares de floresta) e aproveitaria 86% do potencial da floresta (Masuda, 1980).

A qualidade do carvão vegetal depende da espécie da madeira, do tamanho da madeira (quanto menor melhor) e do método de carbonização (carbonização lenta, temperatura controlada e baixa umidade). O carvão vegetal a ser utilizado no alto-forno deve ser fisicamente duro, pouco friável, de granulometria uniforme e resistente à compressão; quimicamente com alta porcentagem de carbono fixo, baixa porcentagem de cinza e fósforo e baixa umidade. Algumas destas propriedades são antagônicas e deve-se procurar em cada caso o fator técnico-econômico ótimo. As características da madeira também influenciam as propriedades do carvão. Como exemplo, cita-se a correlação existente entre a densidade da madeira com a densidade do carvão produzido. Quanto maior a densidade da madeira, maior será a densidade do carvão. A densidade está relacionada também com a idade da madeira, sendo menor para árvores mais jovens.

Segundo Masuda (1980), a utilização da madeira como redutor de minério de ferro é vantajosa, por ser isenta de enxofre, além de ser uma fonte de armazenagem de carbono. Como desvantagem pode-se citar a necessidade de grandes quantidades de água e de terra, o que obriga a vencer muitos obstáculos (políticos, administrativos, etc.). Masuda (1980) também afirma que o balanço destas vantagens e desvantagens é claramente favorável às florestas como fonte de energia, frente aos combustíveis fósseis e nucleares, sendo uma alternativa economicamente válida.

Os métodos de carbonização da madeira não mudaram muito através dos séculos. Embora tal sistema de fabricação possa parecer grosseiro e pouco eficiente, pois desperdiça os subprodutos gasosos e líquidos e aproveita mal a madeira, ele ajuda a descentralizar o processamento. Devido ao baixo peso por m³ do carvão vegetal e do baixo rendimento da madeira para a produção do carvão vegetal, o transporte e manuseio ficam muito caros. Os fornos de superfície são os mais utilizados no estado de Minas Gerais, e são fornos de aquecimento interno, fixos e trabalham por cargas. São construídos com tijolos comuns, tem forma cilíndrica e fechados no topo por uma abóbada de tijolos. As vantagens destes fornos são a carbonização simétrica, resfriamento rápido (ventilação externa em todas as paredes), a facilidade de vedação, fácil controle da manobra da carbonização, baixo custo, fácil construção, manutenção quase nula, mão-de-obra não especializada e possibilidade de ser instalado perto das florestas. Os fornos são cheios pelas portas com madeira. Fecha-se completamente o

forno, deixando um orifício na parte superior para fazer a ignição e uma série de outros orifícios na parte inferior para entrada de ar. A combustão progride lentamente e leva vários dias até a fumaça da chaminé ficar mais leve e com coloração azul-cinza. Neste momento, o forno é completamente vedado. O resfriamento ocorrerá nos três a quatro dias subseqüentes. Os fornos de superfície podem ter um rendimento de 1m³ de carvão para cada 1,7 estéreo⁽⁴⁾ de lenha de eucalipto de 7 anos de idade e 1,3 m de comprimento.

O processo Sific-Lambiotte é contínuo e aproveita os gases e vapores da carbonização. A lenha inicialmente tem sua umidade diminuída a até 18% de água, base seca. Na retorta da carbonização é mantida uma temperatura de aproximadamente 550° C, mediante a queima de combustíveis. O carvão obtido tem mais de 85% de carbono fixo, 5% de água, menos de 2,5% de cinzas e menos de 7% de voláteis. O processo tem como subprodutos finais o alcatrão, metanol, ácido acético, que podem, dependendo da situação do mercado, ser transformados em produtos mais sofisticados, como creosota e óleos, para diversas aplicações. Outra aplicação é a utilização dos líquidos condensáveis como combustíveis para fins energéticos. Os gases e vapores não condensáveis podem ser utilizados para secar a lenha ou podem ser queimados para produzir energia elétrica. A comparação entre os dois processos mostra que o método SIFIC é utilizado em grandes unidades e pouca disponibilidade de mão-de-obra, enquanto para os fornos de superfície são necessárias várias unidades pequenas e mais mão-de-obra.

A produção de carvão vegetal no Brasil é feita através de fornos de alvenaria, com difícil controle do processo, e com um produto de propriedade bastante variável. Porém, com a evolução da prática de operação dos altos-fornos, necessita-se que o controle da matéria-prima seja mais apurado, o que trará consequência na otimização do uso do redutor, aumento da produção e da qualidade do produto obtido. Isso implicará, conforme Masuda (1980) em uma evolução tecnológica do setor de produção do carvão vegetal, com vistas à utilização de processos mais controláveis. Dentre as propriedades mais representativas do carvão vegetal com acentuado efeito no comportamento e desempenho do alto-forno pode-se citar: composição química, densidade, reatividade, resistência mecânica, higroscopicidade. Estas propriedades deverão ser levadas em conta no desenvolvimento de novos processos de produção do carvão vegetal. Além da grande variação da qualidade do carvão vegetal, segundo

⁽⁴⁾ Um estéreo é igual ao volume de uma pilha de madeira com um metro cúbico e compreende a madeira propriamente dita e os espaços vazios entre as toras.

Masuda (1980), não existe, normalmente, um sistema de controle de qualidade estabelecido nas usinas. São praticamente inexistentes estudos que correlacionem os resultados da qualidade do carvão e o desempenho dos equipamentos de redução. É mostrado na figura 13 fotos do sistema de carbonização por fornos de alvenaria e pelo sistema SIFIC.



Figura 13: (a) Processo SIFIC (b) Fornos de Alvenaria
Fonte: SKYNET, 2008

Foram produzidos em 2006, 9,6 milhões de toneladas de carvão vegetal, um decréscimo de 3% em relação a 2005. A indústria de ferro-gusa e aço consumiram 7,2 milhões de toneladas do total produzido (BEN do MME, 2007).

7.2.4 Estudo comparativo entre o carvão vegetal e o coque

A produção mundial de aço é largamente baseada na utilização do coque. No Brasil, não acontece ao contrário, sendo o principal combustível redutor, proveniente de carvão mineral importado, e responsável pelo consumo de uma apreciável parcela do total de energia gasta pelo País. Segundo Masuda (1980), duas possibilidades fariam o País diminuir a dependência à importação: desenvolvimentos de técnicas de exploração para a utilização do carvão do sul do País; aumento de estudos e investimentos para utilização do carvão vegetal em uma maior extensão. As principais dúvidas a respeito do carvão nacional são quanto a qualidade do carvão, a economicidade de sua utilização e o grau de desenvolvimento atual ou em curto prazo da tecnologia para seu aproveitamento. As principais limitações da siderurgia a carvão

vegetal, conforme salientado por Masuda (1980) são: a dependência da mão-de-obra; a dependência por programas de reflorestamento; a menor resistência à degradação do carvão vegetal, limitando a capacidade das unidades.

Porém, segundo a Plantar (2007), o Brasil é o único país capaz de produzir ferro baseado no carvão vegetal em larga escala. A oferta do carvão vegetal segundo SILVA e SILVA (*apud* Paiva, 2001), assim como seu preço, está sujeita a flutuações aleatórias, dadas as suas condições edafoclimáticas⁽⁵⁾, além de fazer parte de um mercado desorganizado. O mercado envolve, de um lado as indústrias siderúrgicas, de outro os proprietários rurais e os carvoeiros profissionais e temporários, e, no meio, os órgãos governamentais como o IEF, IBAMA e Polícia Federal, que tentam eliminar o comércio de madeira não proveniente de reflorestamento. Minas Gerais é a principal região do comércio de carvão vegetal, que inclui as cidades de Montes Claros, Pirapora, Divinópolis, Rio Piracicaba, Ouro Preto, Santos Dumont e Sete Lagoas. Outro mercado que vem se tornando cada vez mais importante é o de Carajás. Muitas são as críticas em relação às atividades de carvoejamento, pois, em muitos casos, as condições de trabalhos são subumanas, as tarefas estafantes e há casos de exploração de menores (Paiva, 2001). Entretanto, é possível afirmar que essas condições possam ser mais graves na extração do carvão mineral, devido à existência de minas subterrâneas.

Durante a década de 70 e a crise do petróleo, intensificaram-se os estudos sobre a viabilidade do carvão vegetal. Borges e Colombaroli (*apud* Paiva, 2001) procuraram demonstrar a viabilidade de um grande parque siderúrgico a carvão vegetal no Brasil, afirmando que:

O Brasil é o melhor exemplo que se pode tomar para a siderurgia a carvão vegetal. Está produzindo mais de 3,6 milhões de toneladas por ano de gusa a carvão vegetal sem qualquer problema de ordem técnica e independente de tecnologia alienígena.

Tornando-se o custo atual do coque a US\$120,00 por tonelada e o consumo específico de 0,48 toneladas de coque por tonelada de gusa. Nestas condições e considerando o consumo de 3,2 m³ de carvão vegetal por tonelada de gusa, permite-se remunerar o termo-redutor renovável a US\$18,00 por m³, o que é perfeitamente exequível para as condições brasileiras.

A siderurgia brasileira a carvão vegetal é uma realidade para os trópicos, com tecnologia conhecida e dominada, garantia de suprimento, previsão de preços do temoredutor, flexibilidade de escala, além de ser economicamente competitiva com técnicas similares e com grande repercussão social para as áreas envolvidas (...) A siderurgia a carvão vegetal pode ser utilizada em uma ampla

⁽⁵⁾ Condições edafoclimáticas são relativas à influência dos solos e do clima nos seres vivos, em particular nos organismos do reino vegetal.

gama de escala, desde o aproveitamento de potencial e demanda regionais até a solução da siderurgia pesada de um país.

Silveira (*apud* Paiva, 2001) realizou um estudo em 1980 sobre o custo de aquisição do coque comparando com a produção do carvão vegetal, para a produção de 300.000 toneladas anuais de aço. Como resultado obteve um custo de US\$ 153,49 para o carvão vegetal e de US\$ 152,56 para o coque, praticamente iguais. Mazzarella *et al.* (*apud* Paiva, 2001) comparam em 1994 os custos dos redutores para a siderurgia, afirmando que a mudança parcial do uso do carvão vegetal para o coque se deve a fatores relacionados ao custo e a disponibilidade. Isso ocorria, pois a madeira de reflorestamento era destinada ao setor de papel e celulose, no qual a remuneração era maior, e o carvão de cerrado tinha seu suprimento decrescente devido à legislação ambiental. O custo do carvão vegetal de cerrado, com densidade média de $0,250\text{t/m}^3$, era de US\$88,00 a US\$112,00 por tonelada, o custo do coque nas usinas era de US\$ 90,00 a US\$ 100,00 por tonelada e no mercado era de US\$ 120,00 a US\$ 140,00 por tonelada. Para o carvão de reflorestamento, o custo foi estimado em US\$ 139,00 por tonelada. Os fatores que poderiam afetar diretamente os custos do redutor são a produtividade do eucalipto, o rendimento do processo de carvoejamento, a densidade do carvão resultante e o teor de carbono fixo. Ainda, segundo Mazzarella *et al.* (*apud* Paiva, 2001), a relação de substituição entre o carvão vegetal e o coque normalmente adotada é de 1,25 tonelada de carvão vegetal para 1 tonelada de coque e o coque seria vantajoso abaixo de US\$ 110,00 por tonelada posto na usina.

O SINDIFER em 1997 (*apud* Paiva, 2001) destacou que o custo de uma tonelada de ferro-gusa era de US\$ 155,10 para altos-fornos a coque, de US\$ 121,60 para mini altos-fornos a coque, e de US\$ 105,6 para mini altos-fornos a carvão vegetal. O preço do coque competitivo era de US\$ 120,00/t a US\$ 95,00/t comprados da China e Venezuela. O preço competitivo do carvão vegetal era R\$ 25,00/mdc, sendo encontrado R\$ 22,95/mdc em Minas Gerais e R\$ 16,00/mdc em Carajás. A viabilidade de um redutor em relação a outro está relacionado com o contexto econômico da época, dada as condições da taxa de câmbio e de comercialização externa.

Segundo Paiva (2001), os estudos acima mostram pequena diferença de custo entre o carvão vegetal e o coque, ao longo do tempo. Paiva (2001) estudou e analisou a competitividade do carvão vegetal em relação ao coque na produção de ferro-

gusa de uma siderúrgica de médio porte no Vale do Aço, Minas Gerais, no período de 1995 a 1999. A empresa em estudo tem duas opções, consumir coque importado, usualmente da China e do Japão, ou consumir o carvão vegetal nacional. O estudo destaca que a questão de competitividade está relacionada com o preço internacional do coque mineral, taxa de câmbio, condições do mercado de carvão vegetal, condições de reflorestamento e de produção do carvão vegetal. O estudo considera que a proporção necessária de coque para produção de uma tonelada de gusa é 0,48 tonelada. Os valores encontrados para o coque mineral foram de US\$ 100,00/t a US\$ 140,00/t. A taxa de câmbio do período considerada era de R\$/US\$ 0,70 a 1,90. A proporção de carvão vegetal necessária para a produção de uma tonelada de gusa é 0,65 tonelada. Os valores encontrados foram de R\$ 80,00/t a R\$ 140,00/t. Segunda Paiva (2001), a condições de competitividade são dadas pelas relações abaixo:

$$C_{cv} = 0,65P_{cv} \quad (7)$$

$$C_{cq} = 0,48P_{cq} T_c \quad (8)$$

$$C_{cv} < C_{cq} \quad (9)$$

$$P_{cv}/(P_{cq} \cdot T_c) < 0,7384 \quad (10)$$

Em que C_{cv} é o custo do carvão vegetal para produzir uma tonelada de gusa, C_{cq} é o custo do coque para produzir uma tonelada de ferro-gusa, P_{cv} é o preço do carvão vegetal, P_{cq} é o preço do coque e T_c é a taxa de câmbio. Na tabela 5 são apresentados os preços pagos pela siderúrgica durante o período do estudo. Paiva não considerou em seu estudo o efeito no custo do carvão vegetal devido a espera de 7 anos para a primeira colheita da madeira de reflorestamento.

Tabela 5 – Custo posto-usina do coque e do carvão vegetal

Item	Coque	Carvão vegetal adquirido	Carvão vegetal produzido
Preço posto-usina	US\$ 110,00/t	R\$ 33,00/mdc	R\$ 32,34/mdc
Em reais por tonelada	R\$ 187,00/t	R\$ 132,00/t	R\$ 129,36/t
Para uma tonelada de gusa	R\$ 89,76/t**	R\$ 85,80/t***	R\$ 84,04/t***

Fonte: Paiva, 2001

* Taxa de câmbio real média em 1999 - US\$ /R\$ 1,70.

** Fator de conversão coque/gusa - 0,48 ton.

*** Fator de conversão carvão vegetal/gusa - 0,65/ton.

Paiva (2001) realizou um estudo de probabilidade, simulando as condições de competitividade. Os resultados podem ser vistos na tabela 6. Os custos com frete do carvão até a usina foram considerados constantes, porém pode representar até 25% dos custos totais e está sujeito a variações de preços dos combustíveis, dos pedágios e das condições das estradas.

Tabela 6 – Estudo de probabilidade com simulação das condições de competitividades

Variável	Valor	Probabilidade acumulada de ocorrência
Preço do carvão vegetal	≤ R\$ 70,00/t	0%
Preço do coque	≥ US\$ 170/t	0%
Taxa de câmbio	≥ R\$/US\$0,80	92,50%
Custo do carvão vegetal produzido	≤ R\$ 70,00/t	0%
Custo da madeira para produzir 1 mdc	≤ R\$ 10,50	
Taxa de juros	< 12% ao ano	
Produtividade	≥ 45 st/ha	

Fonte: Paiva, 2001

No estudo realizado por Paiva (2001), concluiu-se que os custos são muito próximos para produzir uma tonelada de ferro-gusa com carvão vegetal e com coque mineral, não podendo atribuir significativa economia a um dos redutores em relação ao outro. A taxa de câmbio é a variável decisiva, já que tem maior probabilidade de ocorrer. Para o período de 1995 a 1999, o termoredutor mais competitivo para a produção do ferro-gusa foi o coque, pois os valores menores encontrados para o carvão vegetal foram de R\$77,00/t a R\$80,00/t. Observa-se que o período do estudo caracteriza-se pela valorização da moeda nacional frente ao dólar.

Em 2007, segundo os dados da AMS (2007), o preço médio do carvão vegetal de Minas Gerais originário de florestas plantadas foi de R\$108,5/mdc. Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia apresentaram valores um pouco menores, em torno de R\$ 90-100/mdc. As médias de 2006 foram R\$ 94/mdc para Minas Gerais e em torno de R\$ 88/mdc para Rio de Janeiro, Espírito Santo e Bahia. Segundo Matérias Primas Conjuntura da USIMINAS de fevereiro de 2008 (*apud* Scherer, 2008), o preço médio do coque chinês com 12,5% de cinzas era de US\$155/t em 2006 e de US\$222/t em 2007. Os valores máximos chegaram a US\$187/t em 2006 e US\$400/t em 2007. Os valores no primeiro trimestre de 2008 ultrapassaram todos os valores de 2007, com um máximo de US\$520/t, no mês de março.

7.3 Destaques dos dados da literatura

Conforme apresentado, o coque e o carvão vegetal podem ser utilizados como combustível na produção de ferro-gusa em altos-fornos, porém com algumas diferenças básicas:

- O carvão vegetal é utilizado em pequenos altos-fornos de até 1.200 t/dia, enquanto o coque é utilizado em grandes altos-fornos com capacidade de até 12.000 t/dia. A principal razão disto é a baixa resistência mecânica do carvão vegetal, podendo ser até dez vezes menor que a do coque.
- A quantidade de carbono fixo é maior para o coque, possuindo conseqüentemente um maior rendimento. O consumo de coque em um alto-forno é em torno de 0,48 tonelada por tonelada de gusa, enquanto para o carvão vegetal é de 0,65 tonelada por tonelada de gusa, ou seja, um consumo maior de carvão vegetal de aproximadamente 30%.
- A quantidade de cinzas é maior para o coque, resultando em um maior volume de escória, cerca de 300 kg/t gusa comparado a 150 kg/t gusa para o alto-forno com carvão vegetal. A escória é básica ($\text{CaO/SiO}_2 > 1$) devido ao alto teor de enxofre do coque a ser incorporado e é ácida ($\text{CaO/SiO}_2 < 1$) para o caso com carvão vegetal, devido a maior quantidade de álcalis e fósforo a serem removidos.
- O coque é formado pelo aquecimento do carvão mineral, a temperaturas elevadas, na ausência de oxigênio, originando um resíduo sólido e infusível, após a liberação de gases presentes em sua estrutura. Os gases gerados podem ser comercializados ou aproveitados para produção de energia. O carvão vegetal é formado pela pirólise da madeira, com a quebra das ligações complexas originadas durante a fotossíntese. O maior aproveitamento da madeira se dá pela utilização dos gases, na obtenção de produtos químicos ou energia, e também com uma melhor utilização dos resíduos florestais. O carvão vegetal é na sua maioria, no Brasil, produzido em fornos de superfície. Existem outros processos, como o SIFIC, que são muito pouco utilizados, devido à alta escala e a necessidade de transporte até os centros produtores, nem sempre perto das florestas. A qualidade do carvão vegetal pode ser aprimorada pelo

uso de técnicas mais modernas e melhor controle do processo, objetivando atender às necessidades do alto-forno.

Os impactos ambientais da extração do carvão são condizentes com a atividade de mineração, afetando os recursos hídricos, solo e relevo. A produção do coque, com a queima do carvão, gera particulados e gases poluentes. As coquearias podem recuperar os gases gerados e até produzir energia, como é o caso da coqueria Sol da ArcelorMittal, que contribuirá para reduzir 3,4 Mt de CO₂ em dez anos. Segundo Masuda (1980), a utilização da madeira, no entanto, é vantajosa por ser isenta de enxofre e armazenar carbono. Porém, a produção de carvão vegetal pode gerar uma grande quantidade de desmatamento e, sem a recuperação dos gases gerados e a eliminação de particulados, poluir o ambiente, prejudicando as condições locais de trabalho.

O Brasil possui reservas de carvão mineral no sul com capacidade de 10,08 bilhões de toneladas medidas, 1,1% das reservas mundiais de 909 bilhões de toneladas. A produção brasileira é pequena, devido à baixa qualidade do carvão de Santa Catarina, que tem alto teor de cinzas (cerca de 50%). Quase 100% do carvão coqueificável utilizado é importado. O carvão é uma importante fonte mundial de energia, sendo responsável por cerca de 25% da oferta interna de energia mundial. No Brasil, representa apenas 6% da oferta interna de energia. O consumo de carvão mineral coqueificável no Brasil foi de 11,3 milhões de toneladas em 2007. Foram consumidos pela indústria de ferro-gusa e aço em 2007 cerca de 8,3 milhões de toneladas de coque e pela indústria de ferro-gusa em 2006 cerca de 7,2 milhões de toneladas de carvão vegetal.

Apesar da produção mundial de aço ser baseada no coque, vários estudos econômicos demonstraram a pouca diferença de preço de um redutor em relação ao outro (coque *versus* carvão vegetal), variando, principalmente, com a dependência do câmbio e de investimentos em reflorestamento. O preço do coque no mercado mundial tem a tendência de crescimento no ano de 2008, chegando a US\$ 520/t, em março. O preço médio do carvão vegetal, comercializado em Minas Gerais, chegou a R\$ 108,5/mdc, em 2007. Os valores $P_{cv}/(P_{cq} \cdot T_c)$ foram calculado e os resultados estão no Apêndice B. Os valores encontrados, para baixas densidades de carvão vegetal (0,18 t/m³), são maiores que 0,7384 em 2006 e 2007. Os valores para altas densidades de

carvão vegetal ($0,35 \text{ t/m}^3$) são próximos de 0,7384, em 2006, e menores, em 2007. Com a tendência do aumento do preço coque em 2008, esta vantagem do carvão vegetal deverá se acentuar, porém, a diminuição da cotação do dólar em relação ao real pode afetar esta vantagem. É importante salientar, que os valores apresentados indicam preços de venda no mercado e não o custo de produção do coque e carvão vegetal pelas próprias usinas. O preço do coque apresentado é FOB, mercado chinês, sendo necessário adicionar os valores de frete e impostos de importação, que podem chegar a US\$ 100 por tonelada de coque. Uma análise econômica mais completa deve ser feita para se fazer uma comparação mais real.

8 O BRASIL E O MDL

8.1 Objetivo Específico

Identificar a contribuição do Brasil no combate às mudanças climáticas, comparando a situação do Brasil com os outros países nos projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

8.2 Apresentação dos dados da literatura

8.2.1 MDL e a situação no Brasil e no mundo

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, MDL, é o único mecanismo que admite a participação voluntária de países em desenvolvimento. O MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões e a posterior venda das reduções certificadas aos países desenvolvidos, como modo suplementar para cumprirem as metas do Protocolo de Quioto. No Brasil, a aprovação inicial do processo é feita pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC). Em 6 de março de 2008, um total de 3.101 projetos, no mundo, encontrava-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, sendo 891 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL e 2.210 em outras fases do ciclo. Como pode ser visto na figura 14, o Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 274 projetos (9%). A China, com 1048, ocupa o primeiro lugar e a Índia o segundo, com 874 projetos. É esperado que o MDL gere mais de 2,6 bilhões de CERs no final do primeiro período do Protocolo de Quioto, que termina em 2012, sendo cada crédito equivalente a uma tonelada de CO₂.

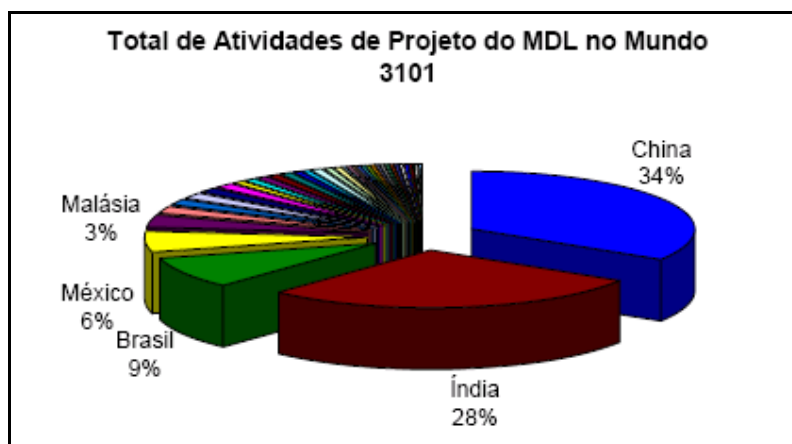


Figura 14 – Atividades de projeto do MDL no mundo
Fonte: MCT, 2008

Em termos de reduções de emissões projetadas (figura 15), o Brasil também ocupa a terceira posição, sendo responsável pela redução de 276.322.726 t CO₂e, o que corresponde a 6% do total mundial, para o primeiro período de obtenção de créditos, que podem ser de no máximo 10 anos para projetos de período fixo ou de 7 anos para projetos de período renovável (os projetos são renováveis por no máximo três períodos de 7 anos dando um total de 21 anos). A China ocupa o primeiro lugar com 2.157.731.798 t CO₂e a serem reduzidos (49%), seguida pela Índia com 1.018.503.624 t CO₂e (23%) de emissões projetadas para o primeiro período de obtenção de créditos.

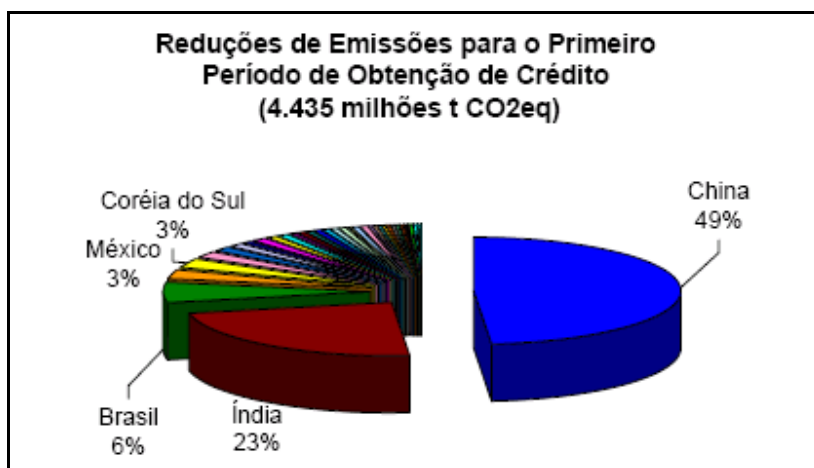


Figura 15 – Reduções de Emissões Projetadas no mundo
Fonte: MCT, 2008

Na figura 16 é apresentada a contribuição global dos gases de efeito estufa reduzidos pelas atividades de projeto no âmbito do MDL no Brasil. Nota-se que o gás carbônico (CO₂) é atualmente o mais relevante, seguido pelo metano (CH₄) e pelo óxido nitroso (N₂O). A maior parte das atividades de projeto desenvolvidas no Brasil é do setor energético (63%), o que explica a predominância do CO₂ na balança de reduções de emissões. Os outros principais projetos são de suinocultura (15%), aterro sanitário (10%) e manejo e tratamento de resíduos (3%).

Observa-se, na tabela 7, o número de atividades de projeto que já foram submetidas, aprovadas, aprovadas com ressalva, ou estão em revisão na Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC). Na tabela 7, também, são apresentadas as atividades de projeto que foram submetidas para registro ou estão registradas pelo Conselho Executivo do MDL.

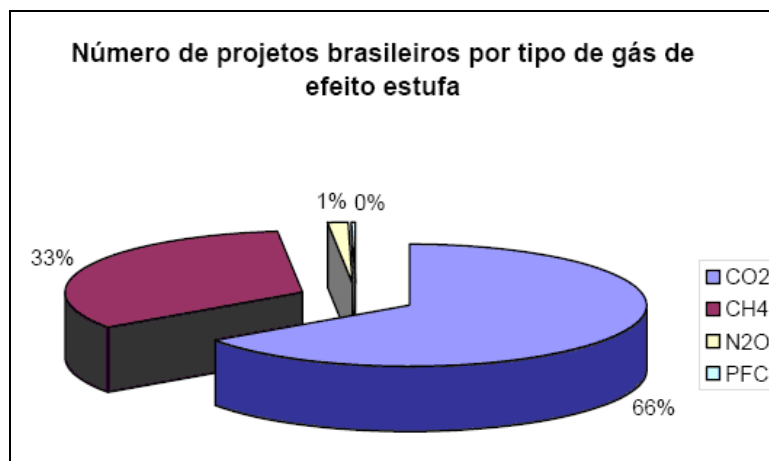


Figura 16 – Contribuição por tipo de gás nos projetos de MDL
Fonte: MCT, 2008

Tabela 7 – Status atual dos projetos na CIMGC e no Conselho Executivo do MDL

Projetos aprovados na CIMGC	176
Projetos aprovados com ressalvas na CIMGC	11
Projetos em revisão na CIMGC	9
Projetos submetidos para a próxima reunião da CIMGC	2
Total de projetos na CIMGC	198
Projetos brasileiros registrados no Conselho Executivo	121
Projetos brasileiros pedindo registro no Conselho Executivo	16
Total de projetos no Conselho Executivo	137

Fonte: MCT, 2008

No Brasil, a região Sudeste predomina em número de projetos devido à posição dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais, com 24% e 13% respectivamente, seguidos pelo Mato Grosso e Rio Grande do Sul, com 9%. O primeiro projeto brasileiro foi registrado pelo Conselho Executivo do MDL em novembro de 2004.

8.2.2 Contribuição brasileira para evitar a mudança do clima

Conforme o Ministério da Ciência e Tecnologia no relatório Contribuição do Brasil para Evitar a Mudança do Clima (MCT, 2008), o Brasil está fazendo sua parte no combate à mudança do clima, mas está pronto e disposto a fazer ainda mais no contexto do esforço global necessário para tratar do problema. O Brasil é o país de maior extensão territorial da América do Sul. Possui uma população estimada de 184.184.170 habitantes, de acordo com os dados da Estimativa Populacional de 2005 (IBGE *apud* MCT, 2008). O País teve um crescimento populacional médio anual de 1,67% no período de 2001 a 2005. Em 2005, a maior parte da população (82,82%) vivia

em centros urbanos, apresentando uma densidade demográfica de 19,95 habitantes/km². O País abriga em seu território mais de um terço das florestas tropicais do planeta, incluindo a floresta amazônica e regiões como o cerrado. Estima-se que o Brasil possua mais de 55 mil espécies vegetais, o que corresponde a aproximadamente 22% do total do planeta. O Brasil apresenta-se entre as dez maiores economias mundiais, é grande produtor agrícola e pecuário (tem cerca de 200 milhões de cabeças de gado e é grande exportador de inúmeros produtos agrícolas) e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, como cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo. Em 2007, o PIB do Brasil correspondeu a R\$ 2,6 trilhões com o crescimento de 5,4% em relação a 2006. O PIB per capita também teve um crescimento, alcançando R\$13.515,00 em 2007, 4% maior que em 2006. Entretanto, uma parcela significativa de sua população encontra-se em situação de pobreza, havendo também grandes disparidades regionais.

Segundo o MCT (2008), sendo um país tropical, o Brasil tem invernos moderados, recursos hídricos disponíveis e abundantes, ainda que nem sempre bem distribuídos ou bem utilizados. Assim, mais de 80% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e mais de 40% de sua matriz energética é suprida por fontes renováveis. Com relação aos outros países, os indicadores brasileiros de emissões de CO₂ per capita, por PIB, por oferta de energia ou por área territorial se encontram nas faixas mais baixas, como se pode observar na tabela 8.

Tabela 8 – Principais indicadores de emissões ⁽¹⁾ de CO₂ da Energia

Indicadores	Brasil	EUA	Japão	A. Latina	Mundo⁽²⁾
tCO ₂ /capita	1,76	19,73	9,52	2,05	4,18
tCO ₂ /tep ⁽⁴⁾	1,58	2,49	2,28	1,87	2,37
tCO ₂ /10 ³ US\$ PIB ⁽³⁾	0,49	0,54	0,25	0,59	0,76
tCO ₂ /km ² área territorial	38,0	631,0	3219,2	49,4	131,5

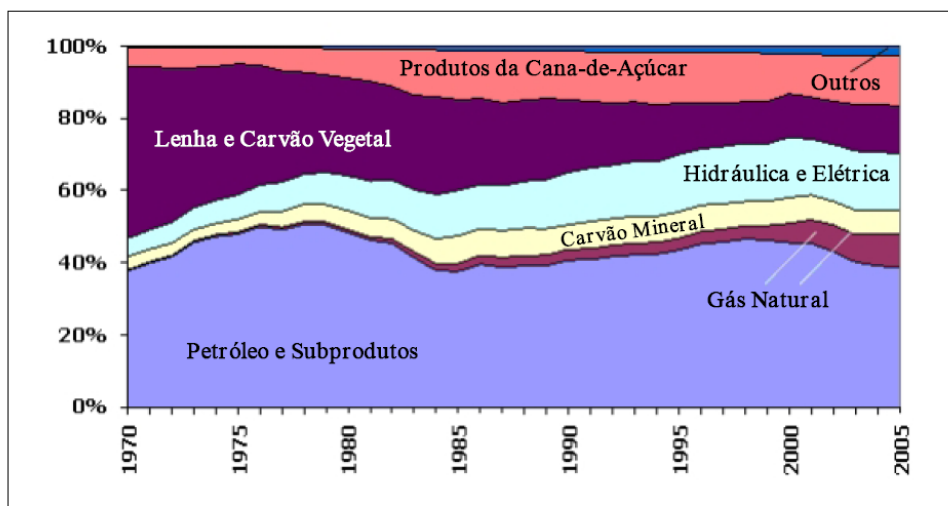
⁽¹⁾ Emissão de CO₂ da combustão
⁽²⁾ As emissões mundiais incluem as do transporte internacional
⁽³⁾ US\$ em valores constantes para 2000
⁽⁴⁾ tep = Tonelada equivalente de petróleo, 1 tep = 10.000 kcal (MME, 2008)

Fonte: IEA Key World Energy Statistics 2005 apud MCT, 2008

Na figura 17 é apresentada a evolução da oferta interna brasileira de energia desde a década de 70. Pode-se observar que as fontes de energia primária que cresceram de forma mais significativa foram a hidroeletricidade e os produtos da cana-de-açúcar,

que aumentaram em cerca de 10 vezes no período. Durante esse período, também se verificou uma importante redução do consumo de lenha nos setores residencial e industrial e um aumento do consumo de carvão vegetal no setor industrial.

Oferta Interna de Energia



Fonte: Balanço Energético Nacional 2006

Figura 17 – Oferta interna de energia no Brasil de 1970 a 2005

Uma forma possível de estimar a contribuição da biomassa é quantificar as emissões de CO₂ lançadas na atmosfera em decorrência da sua combustão. Estes valores não serão contabilizados, por não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que são absorvidas no processo de fotossíntese durante o crescimento da planta. Na maior parte dos países, a produção de eletricidade, juntamente com a produção de calor, são as principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, as fontes primárias de produção de eletricidade são principalmente renováveis e não contribuem para as emissões de gases de efeito estufa.

O biocombustível tem um papel de destaque no mercado nacional. Em 1970, o Brasil lançou o programa Pró-Álcool, para produzir etanol em substituição a gasolina. Durante a década de 90, os baixos preços da gasolina provocaram a inversão deste quadro, com a maior parte dos carros movidos à gasolina. A recente recuperação do consumo de etanol foi motivada principalmente pelo aumento dos preços do petróleo, pela conscientização ambiental, pelo notável aumento da produtividade do etanol e pelo aperfeiçoamento da tecnologia. Hoje, a maior parte dos veículos leves comercializados é *flex-fuel*, ou seja, pode usar tanto gasolina como álcool ou uma mistura dos dois combustíveis em qualquer proporção. Essa tendência se reflete na

matriz de transporte, com a evolução do consumo de álcool no transporte rodoviário no Brasil desde a década de 70. As emissões evitadas de CO₂ pelo uso do etanol foram estimadas com o uso de um fator de 0,7, a fim de simular as diferenças entre o desempenho dos motores a álcool e a gasolina, e do fator de emissão de CO₂ da gasolina. Estimou-se que a contribuição anual média foi de cerca de 13 milhões de toneladas de CO₂ desde 1990. Em dezembro de 2003, um decreto presidencial foi publicado criando a Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel e seu braço executivo, o Grupo Gestor do Biodiesel, visando a promoção e o acompanhamento das providências necessárias à introdução desse combustível na matriz energética brasileira. Segundo o MCT (2008), existem no País diversificadas opções de matérias-primas oleaginosas, como a palma (dendê), a mamona, a soja, o algodão, o amendoim, o pinhão manso, o girassol, gorduras animais e óleos residuais, entre outras, que podem ser utilizadas para produção do biodiesel. Nesse sentido, o programa procura não privilegiar nenhuma matéria-prima, deixando a escolha para o produtor, que a fará com base na análise de custos de produção e de oportunidade. Em 13 de janeiro de 2005, foi publicada a Lei nº. 11.097, que definiu o biodiesel como biocombustível derivado de biomassa renovável, para uso em motores a combustão interna, com ignição por compressão, ou para geração de outro tipo de energia que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. A lei facultou a mistura de 2% de biodiesel (conhecido como B2), a partir daquele mês, se tornando obrigatória em todo o território nacional a partir de 2008, e já ampliando tal mistura para 5% (B5) a partir de 2013. Em termos econômicos, o potencial no Brasil é da geração de US\$ 700 milhões com a mistura B2 e produção de 800 milhões de litros/ano, e de US\$ 1,8 bilhão com a mistura B5 (a partir de 2013) com produção de 2,1 bilhões de litros/ano.

No Brasil, em 2005, o transporte rodoviário representava 96,1% do transporte de passageiros. Estima-se que 96% das distâncias percorridas pelas pessoas no País ocorriam em rodovias, 1,8% em ferrovias e metrô e os 2,2% restantes por hidrovias e meios aéreos. Em relação às cargas, 64% eram transportadas em rodovias, 21% em ferrovias, 12% em hidrovias e os 3% restantes por gasodutos/oleodutos ou meios aéreos. Conforme o MCT (2008), as crescentes taxas de população urbana, a deficiência de políticas públicas de transporte em massa e a retomada do crescimento econômico têm implicado em um aumento espantoso da motorização individual. A frota

nacional de automóveis e veículos comerciais leves foi estimada, em 2006, em 23.283.830 veículos, compreendendo 18.627.576 automóveis, 3.205.013 comerciais leves, 1.188.042 caminhões e 263.199 ônibus (SINDIPEÇAS, 2007). Procurando mitigar os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, promover a melhoria de características técnicas dos combustíveis líquidos e reduzir as emissões poluidoras à atmosfera, em 6 de maio de 1986, a Resolução nº. 18 do CONAMA criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Essa resolução fixou as diretrizes básicas do programa e estipulou os primeiros limites de emissão. Em 28 de outubro de 1993, a Lei nº. 8.723 endossou a obrigatoriedade de se tomarem as providências necessárias para reduzir os níveis de emissão dos poluentes de origem veicular.

O potencial hídrico do Brasil é naturalmente aproveitado para geração de energia elétrica. A capacidade instalada em 2005 era de 93,16 GW, dos quais 70,86 GW (76%) eram de usinas hidrelétricas. O potencial hidráulico (energia firme) do Brasil em 2005 foi avaliado em 143,38 GW. A geração de eletricidade no Brasil alcançou 403 TWh em 2005, dos quais 84% ou 337,5 TWh foram gerados por fontes hídricas. Esses valores confirmam as características especiais do setor energético brasileiro, como um dos maiores produtores hidrelétricos do mundo. Dos 16% restantes, 4,6% foram gerados por outras fontes renováveis, 4,7% por gás natural, 2,9% por derivados do petróleo, 2,4% por energia nuclear, e 1,7% por derivados de carvão mineral.

Estima-se que uma grande quantidade de energia possa ser obtida pela plantação de florestas, cana-de-açúcar e outras fontes de biomassa. O principal incentivo às fontes renováveis, como solar, eólica, de biomassa e pequenas centrais hidrelétricas de energia (PCHs), foi a instituição da Lei nº. 10.438/2002, com a criação do PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, cujo objetivo é aumentar a participação de energia elétrica produzida a partir destas fontes. O PROINFA estimulou a implantação, a partir de 2004, de cerca de 680 MW em empreendimentos de geração de eletricidade por co-geração com bagaço de cana. Os resultados da redução hipotética de emissões de CO₂, que poderia ser alcançada no Brasil com a implementação dessa tecnologia, de acordo com os cenários adotados, apontam valores de 25 a 41 milhões de toneladas de CO₂. Para geração de energia elétrica a partir da utilização da energia solar duas tecnologias têm destaque: os sistemas

fotovoltaicos, que transformam luz solar em eletricidade; e os sistemas heliotérmicos, que usam o calor do sol para gerar eletricidade em plantas de geração térmica. Em fevereiro de 2005, o programa contratou, por meio da Eletrobrás, 144 centrais geradoras, contemplando 19 estados da Federação, num total de 3.299,40 MW de potência instalada, sendo 1.422,92 MW de usinas eólicas, 1.191,24 MW de PCHs e 685,24 MW de centrais de biomassa. Com a implantação do programa, estima-se a redução de 2,8 milhões de tCO₂e/ano.

Outros programas foram implantados pelo Governo Federal com o objetivo de contribuir para evitar as mudanças climáticas, são eles: O Programa LUZ PARA TODOS, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), Programas de Coleta Seletiva e o Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (PRODES).

O Programa LUZ PARA TODOS tem como meta atender a população sem acesso a energia elétrica até 2008, antecipando, em sete anos, o cronograma de universalização do atendimento que, antes do LUZ PARA TODOS, estava previsto para ser concluído em 2015. Para cumprimento das metas, além da alternativa convencional de extensão de rede, o LUZ PARA TODOS pretende adotar, nas regiões isoladas do País, onde couber, a utilização de sistemas de geração individuais ou de geração descentralizada de energia elétrica a partir de fontes alternativas renováveis.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi instituído pela Portaria Interministerial n°. 1877, de 30 de dezembro de 1985, por iniciativa conjunta do Ministério de Minas e Energia. O programa objetiva o combate ao desperdício na produção e no uso de energia elétrica, propiciando o mesmo produto ou serviço com menor consumo, em função da maior eficiência energética, assegurando, assim, uma redução global de custos e de investimentos em novas instalações.

O CONPET, criado por decreto presidencial, em 18 de julho de 1991, tem a finalidade de desenvolver e integrar as ações que visem a racionalização do uso de derivados de petróleo e do gás natural. O objetivo do programa é reduzir as perdas e eliminar o desperdício, com o uso da energia de forma mais racional e eficiente e com o desenvolvimento de tecnologias de maior eficiência energética.

Considerando as vantagens econômicas, sociais e ambientais, no Brasil a reciclagem vem ganhando espaço de forma progressiva. Por meio de uma iniciativa pioneira, o CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem) levantou informações sobre os programas de coleta seletiva desenvolvidos por prefeituras em 327 municípios em todo o Brasil (embora a maior concentração seja nas localidades no Sudeste e Sul do País). Cerca de 25 milhões de brasileiros têm acesso a programas de coleta seletiva e 43,5% dos programas têm relação direta com cooperativas de catadores. As latas de alumínio tiveram um nível de reciclagem de 96,2% em 2005, segundo o CEMPRE (2005 *apud* MCT, 2008). Para embalagem de vidro este nível foi de 46%, para o PET 47%, para o papel de escritório 49,5%.

O principal componente do total das emissões brasileiras de CO₂ está ligado à conversão de florestas para outros usos da terra, especialmente na região da Amazônia Legal. O inventário nacional de gases do efeito estufa para o período de 1990 a 1994 indica que a contribuição do setor foi de aproximadamente 75%, dos quais em torno de 92% foram da conversão de florestas. Segundo o MCT (2008), o Brasil tem investido no uso da tecnologia espacial para avaliar e monitorar seus recursos naturais, especialmente na Amazônia, que ainda mantém 83% da sua cobertura de vegetação original. Como forma de combater o desflorestamento, a prioridade do governo brasileiro é implementar um novo modelo de desenvolvimento na região amazônica, baseado na inclusão social com respeito à diversidade cultural, na implementação de atividades econômicas dinâmicas e competitivas e no uso sustentável dos recursos naturais.

O PRODES, Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia, tem como objetivo promover a redução da taxa de desflorestamento na Amazônia brasileira por meio de um conjunto de ações integradas, entre as quais o zoneamento territorial, fiscalização e controle, estímulo às atividades e infra-estrutura de produção sustentáveis, envolvendo parcerias entre os governos federal e estadual, prefeituras, a sociedade civil e o setor público. Os resultados do PRODES estão apresentados na figura 18, indicando uma redução da área desmatada no período de 2004-2005 em relação ao período de 2003-2004 da ordem de 31% e de 2005-2006 em relação a 2004-2005 de outros 25%. Os resultados preliminares do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais indicam uma redução adicional da área desmatada no período de 2006 a 2007. Adotando-se um estoque médio de biomassa acima do solo de 90

tCarbono/ha, a redução de aproximadamente 475.000 hectares de 2004 a 2006 evitou a emissão de mais de 442 milhões de toneladas de CO₂, supondo-se que a taxa de desflorestamento em 2006 tenha sido a mesma que em 2004.

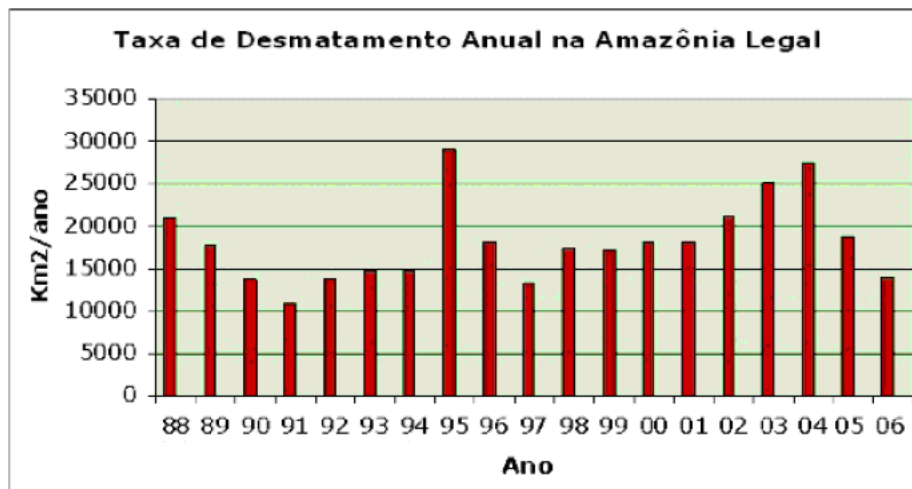


Figura 18 – Taxa de desflorestamento bruto da Amazônia brasileira até 2006
Fontes: Instituto Nacional de pesquisas Espaciais *apud* MCT, 2008.

8.2.2.1 Projeto Minas Ambiente

O projeto Minas Ambiente (JACOMINO *et al.*, 2002) foi realizado tendo como principal objetivo a busca de soluções para indústrias de pequeno e médio porte instaladas no Estado de Minas Gerais. O projeto analisa as tecnologias para processos industriais que venham a contribuir com a redução dos danos ambientais, além de fornecer dados importantes para o exercício dos órgãos governamentais. O projeto foi executado pela Cooperação Técnica Alemã (*Deutsch Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ*) em parceria com diversas instituições brasileiras. O projeto teve as seguintes áreas de abrangência:

- Indústrias independentes de produção de ferro-gusa;
- Indústria de laticínios e derivados;
- Indústrias têxteis de tinturaria de malhas;
- Mineração de quartzito São Tomé.

Todos estes quatros setores têm grande participação na produção do estado de Minas Gerais e provocam graves agressões à atmosfera, recursos hídricos e ao solo.

O Estado de Minas Gerais é o maior centro brasileiro de ferro-gusa em unidades independentes de produção. Entretanto, a produção do ferro-gusa em altos-

fornos a carvão vegetal, assim como nos grandes altos-fornos a coque, gera diversos riscos ambientais. A preocupação ambiental não é só conferida a diversidade dos resíduos, mas, também, ao grande volume gerado. Vários estudos do setor de grandes altos-fornos foram executados ao longo de vários anos, o que não acontecia com o setor guseiro. O projeto Minas Ambiente envolveu a realização de uma série de atividades no setor de ferro-gusa como: a elaboração de um diagnóstico atualizado do setor; conhecimento do estado da arte dos processos produtivos, de disposição e de tratamento de efluentes; identificação e disponibilização de alternativas para otimização do processo industrial para reduzir a carga poluidora; identificação e disponibilização de alternativas para melhoria do controle das emissões.

8.3 Destaques dos dados da literatura

Conforme apresentado, o MDL tem sido um importante mecanismo para participação dos países em desenvolvimento, no Protocolo de Quioto. Em março de 2008, no mundo todo 3.101 projetos encontravam-se em alguma fase do MDL. A China ocupa a primeira posição em número de projetos e no total de emissões reduzidas no primeiro período de obtenção, seguido pela Índia e pelo Brasil. O Brasil tinha, em março de 2008, 274 atividades de projeto, correspondendo a 276 milhões t CO₂e. Estima-se que para o primeiro período do Protocolo de Quioto, o MDL gere reduções em torno de 2,6 bilhões de toneladas de CO₂e. No Brasil, os principais projetos estão relacionados ao setor energético, com predominância do gás carbônico na balança de reduções de emissões.

O Governo Federal, conforme informado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, tem desenvolvido projetos para contribuir no combate à mudança do clima. A contribuição principal refere-se ao desenvolvimento da matriz energética baseada em uma grande quantidade de recursos renováveis, como cana-de-açúcar, carvão vegetal, fonte hidráulica. Com isso, no Brasil, os indicadores de emissão de CO₂ se encontram nas faixas mais baixas do mundo. Diversos programas do governo objetivam a continuidade destes indicadores como: os programas de incentivo ao biodiesel; o PROCONVE, na redução de poluentes de veículos automotores; o PROINFA, no incentivo às fontes alternativas de energia elétrica; o Programa LUZ PARA TODOS, objetivando alternativas renováveis; o PROCEL, objetivando a eficiência energética dos aparelhos; o CONPET, com a maior eficiência na utilização de derivados de petróleo;

programas de incentivo a reciclagem; o PRODES, que monitora o desmatamento na Amazônia, objetivando diminuir a degradação e as queimadas; entre outros. O projeto Minas Ambiente foi um projeto realizado com a parceria de instituições alemãs e brasileiras com objetivo de identificar soluções que contribuirão com a redução dos danos ambientais de setores importantes da indústria de Minas Gerais. Destaca-se o projeto realizado para as indústrias independentes de ferro-gusa que identificou e disponibilizou alternativas para diminuição das emissões, incluindo a otimização dos processos produtivos.

9 EMISSÕES DOS GASES DO EFEITO ESTUFA NO ALTO-FORNO E OS ESTUDOS DE CASO

9.1 Objetivos Específicos

Identificar as emissões de gases do efeito estufa no processo de produção de ferro-gusa, discutindo as possíveis rotas de diminuição destas emissões. Identificar projetos de MDL que objetivam a obtenção dos certificados de emissões reduzidas (CERs), com a substituição do coque pelo carvão vegetal em altos-fornos. Identificar as principais dificuldades na implementação destes projetos.

Para atender a estes objetivos será feita, primeiramente, uma revisão bibliográfica sobre os efluentes atmosféricos gerados no alto-forno, incluindo os gases do efeito estufa. Em seguida, serão apresentados e analisados dois estudos de casos: o projeto Plantar, candidato ao MDL, e os projetos da ArcelorMittal Brasil.

9.2 Apresentação dos dados da literatura

9.2.1 Efluentes atmosféricos no alto-forno

Uma grande quantidade de efluentes atmosféricos é gerada durante o processo de produção de ferro-gusa. Esta emissão ocorre tanto nos altos-fornos maiores, a coque, quanto nos altos-fornos a carvão vegetal. No Projeto Minas Ambiente (JACOMINO et al., 2002) foram estudados os principais pontos de geração de efluentes atmosféricos no alto-forno a carvão vegetal, quais sejam:

- Preparo de matérias-primas, principalmente no manuseio de carvão;
- Queima de gás do alto-forno nas tochas e nos glendons (ou cowpers);
- Peneiramento e transferência de correia;
- Movimentação de veículos em vias não pavimentadas;
- Processamento de escória;
- Vazamento do gusa;
- Carregamento do topo do alto-forno.

Os materiais particulados são gerados em todas estas fases. O manuseio do carvão vegetal produz uma grande quantidade de finos, cuja densidade e granulometria contribuem para sua dispersão na atmosfera. No carregamento ocorrem também emissões de gases do interior do forno. Esse falta de vedação do topo só acontece em

altos-fornos pequenos, pois nos sistemas modernos, tanto o duplo cone como o *bell less* têm um bom sistema de vedação da carga para a atmosfera. Situações de arriamento de carga foram observadas nas usinas independentes e podem causar emissões instantâneas de monóxido de carbono e grande quantidade de material particulado no topo do alto-forno. Nos altos-fornos com válvulas *bleeders*, estas, quando acionadas, também liberam uma quantidade significativa de gás de alto-forno e poeira. O gás de alto-forno, conforme já mencionado, após limpo, é queimado nos regeneradores (glendons ou cowpers) para aquecimento do ar soprado nas ventaneiras. Este gás queimado é liberado nas chaminés contendo dióxido de carbono, um pouco de poeira, sulfatos e nitratos (SO_x e NO_x). Os gases não aproveitados nos regeneradores são queimados em tochas, liberando material da mesma natureza das chaminés dos regeneradores. Nas usinas integradas, normalmente estes gases são armazenados, para posterior combustão e aproveitamento da energia. O Projeto Minas Ambiente (JACOMINO *et al.*, 2002) considera a emissão de material particulado o poluente que mais contribui para o impacto ambiental decorrente das atividades de produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal. Os principais equipamentos analisados pelo Projeto para a coleta de material particulado nas usinas siderúrgicas foram os filtros de manga, coletores gravitacionais, coletores centrífugos (ciclones), lavadores tipo Venturi, sistema Multiwir, lavadores de gases, câmara de borriço e coletores úmidos de impactação.

Outra forma de redução das emissões, identificada no projeto Minas Ambiente (JACOMINO *et al.*, 2002), seria a otimização do processo, com a utilização de grande parte da energia obtida no alto-forno, que na maioria dos casos não é reaproveitada. Dentre os produtores independentes de ferro-gusa foi observado no projeto que, somente o ar soprado, entra no alto-forno à temperatura superior a ambiente. Com relação aos produtos, os calores do gusa e escória não são utilizados. O gás de alto-forno contém um percentual razoável de gases combustíveis (CO e H_2) que podem ser reaproveitados. Nas usinas independentes de ferro-gusa somente parte deste gás é utilizado para pré-aquecer o ar, o restante é queimado em tochas e diluído na atmosfera. Um poder calorífico de cerca de 2.100 Mcal/t de gusa, para 2.000 Nm^3/t de gusa, poderia ser utilizado para a produção de energia elétrica. Nas usinas integradas, que utilizam coque como redutor, existem alguns casos de turbina de topo para

produção de energia elétrica e gasômetro para utilização do gás de topo em outras áreas da usina.

Porém segundo o IBS (2007), a legislação ambiental brasileira é extensa e complexa, com várias leis e regulamentos ambientais contendo disposições subjetivas. O IBS tem trabalhado, atuando nos dispositivos legais, objetivando efetivos benefícios para o meio ambiente e para a sociedade, porém sempre considerando os aspectos de viabilidade técnica e econômica. O setor siderúrgico, no que diz respeito ao atendimento à legislação ambiental, tem intensificado esforços para atender as exigências vigentes e, para isso, realizou nos últimos anos investimentos de mais de 2,6 bilhões de dólares (IBS, 2007). Novos investimentos em projetos ambientais serão feitos nos próximos anos dentro do programa de expansão do parque siderúrgico do País.

9.2.2 Os gases do efeito estufa no alto-forno

O IISI, *International Iron and Steel Institute* (apud IBS, 2007), estima que as emissões diretas de CO₂ da siderurgia mundial estejam em torno de 3% do total das emissões antropogênicas globais. Ressalta-se, porém, que a maior parte das emissões de CO₂ da siderurgia origina-se não da combustão, mas dos processos de redução do minério de ferro. Proveniente desta reação, o gás de alto-forno possui na sua composição CO, CO₂, CH₄, N₂, H₂ e H₂O, ou seja, uma quantidade considerável de gases do efeito estufa. O IBS (2007) afirma que não existe previsão de alternativas viáveis de substituição do processo de redução do minério de ferro e conseguinte redução das emissões de CO₂ a médio prazo. Assim, ainda segundo o IBS (2007), metas compulsórias de redução de emissões de CO₂ poderão acarretar impactos significativos sobre os custos de produção do aço.

Empresas siderúrgicas operando no País desenvolvem projetos de redução de emissão dos gases de efeito estufa, dentre os quais se destacam os relacionados à maior eficiência energética nos processos e o plantio de florestas para produção de carvão vegetal, usado como redutor na produção de ferro-gusa. Tais projetos visam obter Certificados de Redução de Emissões, segundo metodologias estabelecidas de acordo com o MDL. Dois projetos são destaques no Brasil: o projeto da empresa Plantar e o da ArcelorMittal, ambos utilizando carvão vegetal de florestas plantadas como redutor do minério de ferro para produção do ferro-gusa.

9.2.3 Estudo de caso – Empresa Plantar

Fundado em 1967, o Grupo Plantar atua no setor florestal e de siderurgia a carvão vegetal. Hoje fazem parte do grupo as empresas: Plantar S/A Reflorestamentos, Plantar Siderúrgica S/A, Plantar Energética LTDA e a Plantar Empreendimentos LTDA, com unidades em Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul.

O projeto de créditos de carbono desenvolvido pela empresa tem como objetivo a substituição energética via biomassa, cultivada como fonte de energia renovável nos moldes do MDL, utilizando carvão vegetal no lugar de carvão mineral na produção de ferro-gusa. O *Prototype Carbon Fund* (PCF) associou-se à Plantar para produzir ferro-gusa com carvão vegetal de florestas plantadas e certificadas. O objetivo é expandir o uso do carvão vegetal produzido de forma sustentável, contrapondo-se com a tendência de referência de substituição crescente pelo coque (Andrade, 2003).

O projeto é multidisciplinar e foi dividido em três componentes principais:

1. Componente florestal;
2. Componente de carbonização;
3. Componente industrial.

Conforme informação repassada por Cristiana Oliveira, assistente da Gerência de Projetos de Carbono da Plantar Reflorestamentos, a situação do projeto em 14 de Janeiro de 2008 era:

O Projeto Plantar foi concebido em 1998 e começou a ser implementado em 2000. As documentações dos Projetos Carbonização e Florestal foram encaminhadas pela primeira vez à UNFCCC em maio/2005 e outubro/2005, respectivamente. As aprovações das novas metodologias propostas saíram em Novembro/2006 (Carbonização) e Dezembro/2006 (Florestal). A Carbonização foi validada em Fevereiro/2007 e registrada na UNFCCC em Agosto/2007. O Florestal está em fase de preparação para a validação... O Projeto industrial está sendo elaborado.

A documentação do desenvolvimento do projeto e as metodologias aprovadas para a componente Florestal e de Carbonização estão disponíveis no site da UNFCCC (2008) e serão base para as descrições abaixo do processo de certificação para obtenção dos créditos de carbono no processo MDL. Para ingressar no MDL, todo projeto deve apresentar um cenário base (*baseline*), que representa as emissões antropogênicas dos GEEs que ocorreriam na ausência da atividade proposta. A *baseline*

deve ser estabelecida levando-se em conta as premissas utilizadas, aproximações, suposições, metodologias, parâmetros, fontes de dados, adicionalidades e as incertezas. Devem ser apresentadas as projeções das emissões no cenário base, das emissões considerando a atividade do projeto e das emissões de fuga, denominadas estimativa da *ex ante baseline*, *ex ante* atual de emissões e *ex ante* emissões de fuga (*leakage*). Após o monitoramento da atividade do projeto, calculam-se os valores efetivos ou figuras *ex post* de emissões no cenário base, atuais (considerando a atividade do projeto) e das emissões de fuga

9.2.3.1 Projeto Florestal

Título - Reflorestamento para fornecimento de madeira como fonte renovável para utilização industrial no Brasil

Descrição - As plantações de madeira como fonte de energia renovável para a indústria têm como expectativa a obtenção de dois principais benefícios: geração de reserva de carbono e remoção dos GEE; substituição sustentável pela biomassa no lugar da utilização de combustíveis fósseis, que contribuem para o aumento da emissão dos GEE. Esse projeto tem o foco exclusivo na remoção dos GEE pelo estabelecimento de plantações adicionais na Atividade de Projeto de florestamento e reflorestamento (A/R Project Activity). A utilização de carvão vegetal para produção de ferro-gusa será tratada na atividade de Projeto Industrial, que ainda está em elaboração. O projeto foi implementado em resposta aos incentivos do MDL, que possibilitam superar os obstáculos para a produção da biomassa sustentável.

Dentro das atividades do projeto, a plantação de eucalipto foi estabelecida em uma área de 11.683 hectares. O uso da terra se fará por 21 anos e a primeira colheita ocorrerá depois dos 7 anos, seguidos por mais dois sucessivos períodos de 7 anos. Levando em consideração que no período dos primeiros 7 anos ocorrerá plantações anuais, o projeto irá durar 28 anos (2001 – 2028). Os múltiplos benefícios do projeto são a promoção a longo prazo do uso da terra e a energia renovável da biomassa para a indústria do ferro e aço sustentável no Brasil. O projeto tem uma tendência potencial de ser replicado por outras organizações.

O comerciante do projeto é a Plantar S/A, com sede na Avenida Raja Gabaglia 1380, Belo Horizonte, Minas Gerais. O órgão assistente para o MDL é o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial (Prototype Carbon Fund - PCF), que

compra os certificados de redução de emissão (CER's) através de um acordo de compra de créditos. A parte não incluída no Anexo I que se beneficiará da atividade do projeto é a República Federativa do Brasil, que ratificou o protocolo de Quioto em 21 de agosto de 2002. As cidades participantes são Belo Horizonte (sede) e os municípios de Curvelo (fazenda Buenos Aires), Felixlândia (Fazenda Jacaré e Riachão), Morada Nova de Minas (Fazenda Buriti Grande) e Itacambira (Fazenda Tamanduá e Poções), todos no estado de Minas Gerais. As áreas foram identificadas por mapas, GPS e imagens de satélites. O projeto é localizado dentro da zona de clima tropical. O período seco dura de 4 a 5 meses e a temperatura média é de 18° C. O inverno é ameno e o verão é quente e dura de setembro/outubro a março. O total pluviométrico anual varia de 800 a 1300 mm. A umidade relativa média anual é de 70%. A área do projeto pertence às bacias do São Francisco e Jequitinhonha (MG15) e as principais sub-bacias do Paraopeba, represa de Três Marias, rio Itacambiruçu e rio Verde Grande. O solo é levemente ondulado com altitudes que variam de 600 a 750 metros, todos acessíveis por estradas. O tipo de solo predominante é o Latossolo, permeável, favorável à infiltração de água e reabastecimento do lençol freático. As fazendas Buenos Aires, Jacaré/Riachão e Buriti Grande estão localizadas na região de cerrado; a fazenda Tamanduá/Poções está em uma região de transição do cerrado com a caatinga. A região a ser preservada pelo projeto Plantar está dentro de uma área de 9.759,24 hectares. O projeto pretende proteger várias espécies nativas e melhorar a biodiversidade da região. Algumas espécies são monitoradas como parte do projeto.

Espécie e variedade selecionada - A espécie selecionada para o projeto foi o *Eucalyptus spp.* As variedades plantadas foram o *Eucalyptus camaldulensis* e o *Eucalyptus Urograndis*, clone híbrido do *Eucalyptus Grandis*. A escolha da espécie e suas variedades objetivam a máxima produtividade. Todas as terras são pertencentes à Plantar e legalmente registradas de acordo com as legislações brasileiras. O projeto proposto terá produção sustentável e tecnologia avançada, com utilização eficiente da água e equipamentos avançados de proteção contra incêndio. Foram desenvolvidas pesquisas para produção de clones de eucalipto de alta eficiência, que são inicialmente cultivados em estufas, com controle de temperatura e de umidade. Os processos de plantação minimizam impactos no solo e otimizam o uso da água. A produtividade é monitorada e o risco de incêndios é minimizado com a utilização de torre de alerta de

incêndios em contato com a brigada de bombeiro. Todo o processo, desde a produção até a manutenção, ocorre com gerenciamento da qualidade de acordo com ISO 9001.

Início das atividades - Em 1998, a companhia concebeu as atividades deste projeto em resposta aos incentivos do MDL, como forma de promover novas plantações depois do final dos incentivos governamentais. As primeiras plantações foram estabelecidas em junho de 2001, que é adotada como a data de início das atividades do projeto. Nesta mesma data, documentos como descritivo do projeto, validação e relatórios de verificação, além de correspondências oficiais com o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial foram publicadas.

Período de crédito - O período é fixo e selecionado por 30 anos para utilização dos CERs.

Elegibilidade da Terra - O projeto adota a definição de floresta como o mínimo de cobertura de árvores de 30%, em um mínimo de área de 1 hectare, com árvores com potencial a alcançar o mínimo de 5 metros na maturidade. As terras utilizadas não continham florestas em 31 de dezembro de 1989, e esperava-se permanecer pasto na ausência deste projeto. As terras de Felixlândia, Morada Nova e algumas em Curvelo fazem parte desta categoria. Documentos oficiais de uso da terra datados de 1989 demonstram que as áreas do projeto eram cobertas por pasto (*grama brachiaria*). Terras contendo plantações não espontâneas antes de 31 de dezembro de 1989 e que estavam em exaustão no momento do estabelecimento do projeto não foram contabilizadas aqui para remoção dos GEE. Incluídos nessa categoria estão a região de Itacambira e algumas terras na municipalidade de Curvelo. As informações destas plantações e suas variações na captura de carbono serão registradas separadamente. Considerando que estas terras seriam revertidas a pastagem, estas regiões requerem instruções específicas.

Metodologia aprovada para o *baseline* e monitoramento - Nova metodologia AR AM 0005, “Atividades de projeto de florestamento e reflorestamento implementada para indústria e/ou uso comercial”, foi aprovada em 15 de dezembro de 2006, na reunião da UNFCCC, proposta como AR NM 0015 (Reflorestamento de fonte renovável para fornecimento de madeira para uso industrial no Brasil). Esta metodologia, utilizada de forma conservadora, considera apenas o carbono contido nas árvores acima e abaixo da terra (troncos e raízes), não considerando as madeiras mortas

e o carbono do solo orgânico. A metodologia considera como fontes de emissão dentro dos limites do projeto: o CO₂ resultante da combustão de combustíveis fósseis por máquinas e veículos; CO₂, CH₄, N₂O resultantes de queima da biomassa, normalmente causado por incêndios; N₂O emitido pelo uso de fertilizantes; CO₂ resultante da remoção da vegetação não arbórea existente.

O cenário base (*baseline*) considerado pelo projeto está relacionado a seguir:

1. O projeto utiliza terras elegíveis.
2. As legislações brasileiras não são suficientes para atrair a demanda de produção de florestas.
3. A demanda por madeira para uso industrial e comercial tem aumentado, porém a produção de madeira de florestas plantadas vem diminuindo.
4. Após o final dos incentivos a Plantar não era capaz de manter as plantações estabelecidas, apesar do aumento da necessidade de madeira. O estabelecimento das plantações só foi possível com os incentivos do MDL em 1998 e a participação do Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial. A intenção era a auto-suficiência em 2007.
5. As atividades de plantações da Plantar variaram ao longo do tempo conforme as necessidades e os incentivos apresentados na figura 19.

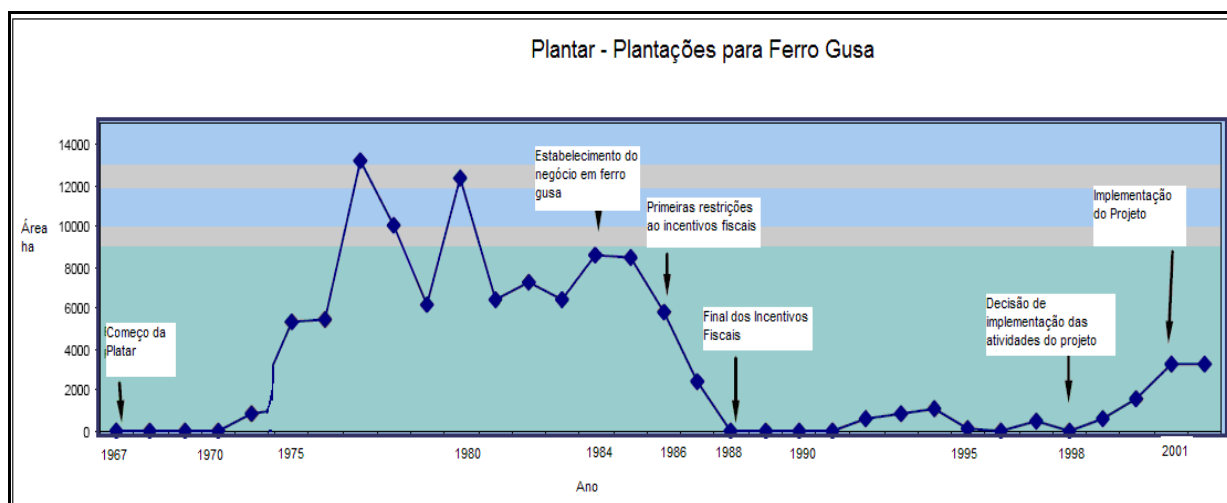


Figura 19 – Plantações da Plantar ao longo do tempo

Fonte: Plantar, 2007

6. As plantações estabelecidas neste projeto são para a produção de carvão vegetal e a análise está restrita à indústria de ferro-gusa. O cenário considerado reflete a completa falta de plantações de madeira em áreas

elegíveis pelas atividades de florestamento e reflorestamento (F/R ou A/R Afforestation and Reforestation). Devido a barreiras estabelecidas, nenhum projeto A/R é esperado ocorrer para o fornecimento de madeira para a indústria de ferro-gusa. É previsto que o fornecimento de madeira piore considerando o histórico de déficit no Brasil. De 1988 até 2000, a necessidade de área plantada para a produção de ferro-gusa era de aproximadamente 3.300 ha/ano. A Plantar plantou em média 407 ha/ano neste período, ou seja, 12,33% da área necessária.

7. Foi adotado como um fator conservativo a taxa de 12,33% da área equivalente para contabilizar como *baseline* no cenário do projeto proposto. O cenário será aplicável ao início das atividades do projeto e para todo o período de crédito do MDL. Para o projeto considerado, 23% da região é composta por florestas (nativa e plantada), 77% é utilizada para produção de alimento, onde 87% destas áreas são pastagens. Na ausência de novas plantações, com base neste projeto, as terras utilizadas seriam pastos.

O projeto identificou as seguintes adicionalidades:

1. O Projeto foi iniciado com os incentivos do MDL e submetido a validação após as regulamentações da LULUCF. As áreas não eram florestas em 1989 e sim cobertas por pastos ou vegetação rasteira (grama).
2. O governo tentou estabelecer a utilização auto-suficiente de florestas sustentáveis, porém a falta de supervisão ao cumprimento das leis tem sido historicamente observada, além da falta de restrições para utilização de florestas nativas, com o pagamento de taxas. Preocupações refletidas pela tentativa de leis que obrigam a utilização de florestas plantadas em conjunto com a falta de carvão vegetal de fonte renovável têm contribuído para a perda do mercado em favor da indústria baseada no coque.
3. As questões relacionadas com a falta de financiamentos, o longo período de maturidade (7 anos), a vulnerabilidade do custo e do retorno dificultam uma análise completa do fluxo de caixa.

4. As barreiras ao investimento incluem a falta de atratividade devido ao longo prazo de maturidade, associado aos riscos de investimentos no Brasil e altas taxas de juros. Os financiamentos são insuficientes para o setor mesmo após o PNF. O BDMG criou um financiamento aplicável (PROFLORESTA), porém com recursos limitados, US\$ 28 milhões para todo o setor florestal, limitando R\$4 milhões por empresa por ano em 1994. Em 2005, apenas R\$ 16 milhões estavam disponíveis e em 2006, R\$8 milhões. De 2000 a 2003, a Plantar obteve do PROFLORESTA R\$8,7 milhões, nenhum recurso em 2004 e R\$4 milhões em 2005, representando aproximadamente 15% do total do investimento do projeto que é estimado em US\$35 milhões para o primeiro ciclo. O PRONAF e o PROPFLORA do BNDES não são aplicáveis para a atividade do projeto por ser exclusivo para operações em pequena escala. Investimentos internacionais também não estão disponíveis.
5. As legislações no Brasil são extremamente complexas. O licenciamento ambiental normalmente leva seis meses. Além disso, o proprietário rural é obrigado a ter 20% da propriedade como área de preservação, que normalmente é aumentado para 30% quando se leva em conta margens de rios, nascentes, etc. Estas dificuldades aumentam o risco de se estabelecer projetos em grande escala de plantações no Brasil.
6. A expectativa de registro no MDL pode ajudar a vencer algumas barreiras listadas acima. O projeto já foi capaz de atingir retornos pela venda de parte das emissões reduzidas e removidas, em um total de US\$5,3 milhões para o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial. O MDL é importante por aumentar a atratividade do estabelecimento da plantação com o crédito de carbono. Os créditos vendidos antecipadamente correspondem aos primeiros 7 anos. O registro no MDL pode se tornar uma motivação para promover atividades A/R como fornecedor de fonte de energia renovável aos setores baseados na madeira. Nos últimos anos, importantes produtoras de ferro e aço como Acesita e Belgo (parte hoje do grupo ArcelorMittal), iniciaram desenvolvimentos de projetos similares em resposta aos incentivos do

MDL. Outros benefícios adicionais do registro no MDL são: aumento das oportunidades de atratividade a fontes de financiamento; criação e melhoria da oportunidade de empregos de qualidade na área rural; incorporação de esquemas adicionais de monitoramento com critérios sociais e ambientais; incentivo a pesquisas e desenvolvimentos na plantação de árvores.

As estimativas *ex ante baseline*, *ex ante* atual de remoção dos GEE por sumidouro, emissões de fuga e quantidade estimada total por sumidouro durante o período de crédito apresentadas a seguir foram calculadas utilizando a metodologia AR AM 0005, “Atividades de projeto de florestamento e reflorestamento implementada para indústria e/ou uso comercial” aprovada pela UNFCCC.

Estimativa da *ex ante baseline* – Remoção de GEE por sumidouros

A *baseline* para fonte de remoção dos GEE é zero considerado que a grama e o pasto irão permanecer no estado existente. No entanto, adotando uma condição conservativa, considera-se 12,33% de área de plantação da entidade do projeto para fornecimento da produção de ferro-gusa antes da implementação do projeto.

Estimativa de remoção na <i>baseline</i>	363.105 t de CO ₂ e
Número Total de Anos de Crédito	28
Média anual de remoção na <i>baseline</i>	12.968 t de CO ₂ e/ano

O estudo da *baseline* foi conduzido pela entidade do projeto com apoio do IEF e IBAMA em junho de 1999 e, em junho de 2001, pelo PCF e Ecoresources Ltd..

Estimativa da *ex ante* atual de remoção dos GEE por sumidouro, emissões de fuga e quantidade estimada total por sumidouro durante o período de crédito

A estimativa total de remoção de GEE por sumidouro é dada pela equação 11.

$$C_{AR-CDM} = C_{ATUAL} - C_{BSL} - LK \quad (11)$$

Onde:

C_{AR-CDM} = remoção total de GEE antropogênico por sumidouro em t CO₂e

C_{ATUAL} = remoção atual de GEE por sumidouro em t CO₂e

C_{BSL} = remoção antropogênica por sumidouro na *baseline* em t CO₂e

LK = emissões de fuga (*leakage*) em t CO₂ e

Estimativa total de remoção de GEE por sumidouro	2.556.757 t CO ₂ e
Número Total de Anos de Crédito	28
Média anual de remoção total de GEE	91.313 t de CO ₂ e/ano

Os valores representam apenas as plantações implementadas em áreas que não tinham floresta em 1989. As emissões de fuga são consideradas como resultado do aumento das emissões causadas por combustível fóssil fora dos limites do projeto devido ao transporte (i.e. transporte de pessoal e de produtos), e a disposição de atividades econômicas que levem ao desflorestamento ou ao uso da terra por agricultura. Esta metodologia apenas considera a emissão de CO₂ devido a utilização de transporte fora da área do projeto, não havendo a disposição de outras atividades associadas. As emissões de fuga (*leakage*) do projeto foram estimadas em 25.027 t CO₂e. Na tabela 9 são mostradas as estimativas *ex ante* de remoção de GEE por sumidouro para o projeto.

Monitoramento

Durante a implementação do projeto, as variações de carbono estocado são registradas e monitoradas, conforme determinado nas metodologias de *baseline* e monitoramento. Os valores efetivos ou figuras *ex post* serão inseridos no modelo e as projeções iniciais serão atualizadas a cada intervalo de monitoramento. O fluxo de carbono é calculado na escala de 1 hectare, utilizando intervalo anual, em sete anos de rotação. Os fatores, parâmetros e as suposições são adotados na base conservativa. Devido a baixa produtividade de uma terra gramada, a metodologia não considera o monitoramento da *baseline* durante o período de crédito. Os valores, então, do cenário *ex ante* definidos no começo do projeto serão válidos por todo o período. A produtividade deverá decrescer para a segunda e a terceira colheita e os valores esperados são de 90% e 80% respectivamente. Esta metodologia não considera fontes de biomassa que não sejam árvores, sendo estão conservativa. O primeiro intervalo de monitoramento deve ocorrer no 3º ao 5º ano, a partir do qual o intervalo coincide com o de verificação, que é esperada a ocorrer de 5 em 5 anos até o fim do período de crédito.

O monitoramento envolve a verificação do calendário de fertilização, o regime de colheita, variável com a espécie utilizada, calendário de replantação, quantidade de combustível fóssil utilizado, distúrbio natural ou antropogênico como

incêndio ou catástrofes, práticas de queimadas de biomassa, informações sobre práticas de proteção a floresta como sistemas anti-incêndios. Amostras permanentes devem ser utilizadas para determinar as variações da quantidade de carbono armazenado. O número de pontos permanentes monitorados depende da precisão requerida. Esta metodologia adota o erro máximo permissível de $\pm 10\%$ da média, com 95% de nível de confiança. O tamanho da amostra é estimado pelo critério de níveis fixos de Neyman para o custo e para a precisão. A equação utilizada pode ser vista no ANEXO A.

Tabela 9 – Estimativa *ex ante* de remoção de GEE por sumidouro no projeto

Uso da Terra Categoria 1 - Platações em Pastagem (<i>ex ante</i>)				
Ano	Estimativa da baseline para remoção GEE por sumidouro em toneladas de CO ₂	Estimativa de remoção atual de GEE por sumidouro em toneladas de CO ₂	Estimativa de emissões de fuga em toneladas de CO ₂	Estimativa de remoção total de GEE por sumidouro em toneladas de CO ₂ - Variação anual
2001	(1.085)	(8.879)	448	(8.232)
2002	(2.239)	(18.158)	1.916	(17.834)
2003	9.364	75.948	1.953	64.629
2004	31.942	259.061	1.645	225.474
2005	73.153	593.291	294	519.845
2006	96.539	782.963	0	686.424
2007	102.194	828.825	0	726.631
2008	57.450	465.938	448	408.040
2009	(49.284)	(399.704)	1.916	(352.337)
2010	(70.420)	(571.126)	1.953	(502.600)
2011	(58.384)	(473.514)	1.645	(416.775)
2012	30.735	249.270	294	218.242
2013	59.640	483.695	0	424.055
2014	63.133	512.028	0	448.895
2015	28.473	230.927	448	202.008
2016	(60.070)	(487.183)	1.916	(429.030)
2017	(71.749)	(581.905)	1.953	(512.110)
2018	(55.832)	(452.816)	1.645	(398.629)
2019	26.755	216.990	294	189.942
2020	53.013	429.951	0	376.938
2021	56.118	455.136	0	399.018
2022	25.302	205.206	448	179.456
2023	(52.943)	(429.385)	1.916	(378.358)
2024	(61.007)	(494.782)	1.953	(435.728)
2025	(42.525)	(344.892)	1.645	(304.012)
2026	38.426	311.643	294	272.924
2027	66.266	537.439	0	471.173
2028	70.148	568.920	0	498.772
Total (tonnes of CO ₂ e)	363.105	2.944.889	25.027	2.556.757

Fonte: Plantar, 2007

Impactos Ambientais – As avaliações dos impactos sociais e ambientais foram preparadas de acordo com a legislação brasileira e apresentadas ao COPAM/MG.

Adicionalmente as florestas foram certificadas pelo FSC. A conclusão geral demonstrou a capacidade de implementação do projeto dentro de ações ambiental e socialmente sustentáveis.

Comentário dos Acionistas - A entidade do projeto solicitou comentário dos acionistas. A maioria dos comentários recebidos enfatiza a importância do projeto para o desenvolvimento no nível local, regional e nacional, reconhecendo a remoção dos GEE. Outros comentários trouxeram a preocupação da sustentabilidade das plantações de eucalipto.

9.2.3.2 Projeto de Carbonização

Título - Mitigação da emissão de metano na produção de carvão vegetal da Plantar, Brasil

Descrição - O projeto objetiva a redução da emissão de metano durante a carbonização do carvão vegetal com a implementação de aperfeiçoamentos de processo. O projeto é o resultado de dois anos de pesquisas conduzidas por especialistas independentes da área de carbonização. As pesquisas identificaram a existência de uma relação linear negativa entre a emissão de metano e o rendimento gravimétrico. Adicionalmente a redução de emissões, este projeto permite o estabelecimento de normas para produção eficiente e limpa do carvão vegetal, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Na figura 20a são apresentadas as plantas típicas de carbonização no Brasil e na figura 20b as da Plantar, incluídas na atividade deste projeto.

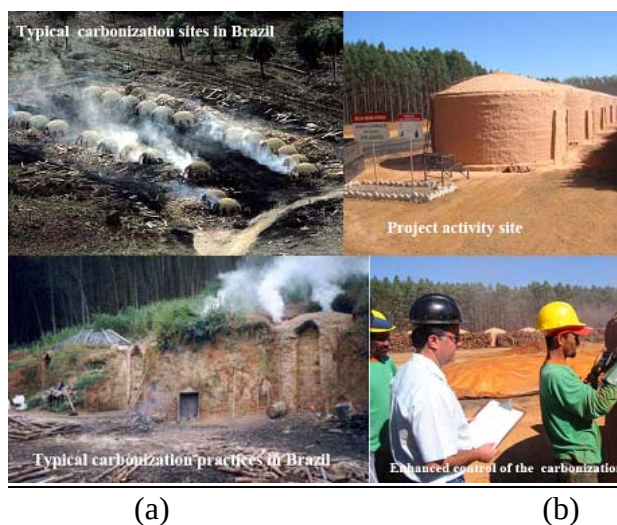


Figura 20 – (a) Plantas típicas de carbonização no Brasil e (b) planta da Plantar
Fonte: Plantar, 2007

A entidade do projeto é a Plantar S/A com sede na Avenida Raja Gabaglia 1380, Belo Horizonte, Minas Gerais. O órgão assistente para o MDL é o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial (Prototype Carbon Fund - PCF), que compra os certificados de redução de emissão (CER's) por meio de um acordo de compra de créditos. A parte não incluída no Anexo I que se beneficiará da atividade do projeto é a República Federativa do Brasil. As cidades participantes são Belo Horizonte (sede) e os municípios de Curvelo, Felixlândia, Morada Nova de Minas e Itacambira, todos no estado de Minas Gerais. O carvão vegetal produzido utiliza madeira das plantações da entidade do projeto e as unidades de carbonização estão localizadas na vizinhança das plantações. O projeto está no MDL relacionado ao setor 1, escopo Energia Industrial – fornecimento de energia através de melhorias eficientes.

Tecnologia empregada - O projeto aplica um processo inovador e tecnológico para a produção de carvão vegetal com o aumento do rendimento gravimétrico de carbonização (produção de carvão por unidade de madeira utilizada) e diminuição da emissão de metano. As três principais fases do processo de produção do carvão vegetal são: ignição, carbonização e resfriamento. A carbonização é a fase mais importante para a produção do carvão vegetal, requerendo altas temperaturas para a ignição dos gases, que garantem o fornecimento de calor para a combustão da madeira. A otimização da vazão de ar nas entradas, chamadas de tatus, baianas ou pegadeiras, ajuda no controle de calor no forno de superfície. A demanda térmica na fase de carbonização influencia o rendimento gravimétrico, resultando em emissões de metano. Fatores como umidade da madeira, temperatura, tempo de carbonização são importantes para a quantidade de metano emitido. Aperfeiçoamentos no projeto do forno e na operação permitem aumentar o controle das variáveis da carbonização. Além disso, a entidade do projeto incluiu padronização do processo de produção, treinamento operacional e adoção de instrumentos para medir e monitorar as emissões. A pesquisa de carbonização foi conduzida por um time de especialistas da RS Consultoria, conduzida durante 2002 a 2003.

Análise das políticas nacionais no desenvolvimento industrial e na produção de carvão vegetal mostra que não há incentivos para desenvolvimento da tecnologia de carbonização para a redução dos GEE. Não há também indicação de mudança do setor, sendo que sem os incentivos do MDL a intensidade de emissão de metano iria

permanecer alta. O registro do projeto nas atividades do MDL possivelmente irá estimular outros produtores de carvão vegetal a desenvolver seu processo de produção com melhoramento da carbonização e redução das emissões.

Início das atividades - A data inicial do projeto é 1º de julho de 2004, que corresponde à data em que a primeira unidade de carbonização aperfeiçoada entrou em operação.

Período de crédito - O período é de 7 anos, podendo ser renovado para mais dois períodos de 7 anos, ou seja, um período total de 21 anos. O período operacional do projeto pode ser considerado indefinido por estar relacionado a um desenvolvimento tecnológico. Por isso, o primeiro período de crédito vai de 01/07/2004 a 01/07/2011, podendo ser renovado.

Metodologia aprovada para *baseline* e monitoramento - A nova metodologia AM0041 para a *baseline* e monitoramento aplicada para a atividade do projeto tem o nome de: “Mitigação das Emissões do Metano na Atividade de Carbonização da Madeira para Produção de Carvão Vegetal”. Aprovada em 1º de novembro de 2006, na reunião da UNFCCC, proposta como NM 0110. Esta metodologia determina os requerimentos e guia os desenvolvimentos do plano de monitoração para um projeto que implementa melhorias no processo de carbonização. Ela é um guia para a determinação do tipo de dados, periodicidade, arquivamento e controle de qualidade e dá suporte na implementação do plano de monitoramento. O rendimento gravimétrico deverá ser monitorado para o cenário base antes do início das atividades do projeto e durante o período do projeto.

O cenário base (*baseline*) considerado pelo projeto está relacionado a seguir:

1. A extensão espacial do limite do projeto é a área das unidades de carbonização, que utiliza melhorias de tecnologia e processo descrito na atividade do projeto. Apenas o metano emitido diretamente dos fornos de carvão vegetal será monitorado.
2. As leis ambientais no Brasil não possuem requerimentos para a emissão de GEE na produção de carvão vegetal. Além disso, a tradicional indústria de carvão vegetal no Brasil não oferece oportunidades para adoção de desenvolvimentos tecnológicos na atividade de carbonização. A maior parte das indústrias de carvão vegetal no Brasil utiliza o

tradicional forno “rabo quente”, que emite grande quantidade de metano. A entidade do projeto utiliza o forno com uma chaminé, que permite um melhor controle do processo se comparado com o tradicional, emitindo menos metano. A *baseline* do projeto é, portanto, conservativa em comparação com a prática comum da indústria de carvão vegetal.

O forno “rabo- quente” é confeccionado em alvenaria, em forma de meia-laranja, sob a superfície do solo. É construído com tijolos maciços e barro. Seu diâmetro é de aproximadamente 3,20 m, com uma altura de 2,20 m, forma de elipsóide e capacidade de 10 st de lenha. O controle do ar no processo de queima é realizado mediante três fileiras de orifícios localizadas na base, os tatus, a 0,80 m, e as baianas, a 1,60 m de altura, explicando o nome forno rabo quente. O desenvolvimento deste forno se deu na década de 80, com o aumento da capacidade (aproximadamente 40 m³) e a presença de uma chaminé, que permite um melhor controle do processo. Na figura 21 são mostrados o forno “rabo quente” tradicional e o com chaminé, utilizado pela Plantar.



Figura 21 – Forno “rabo quente” tradicional e com chaminé.
Fonte: Plantar, 2007

3. O cenário base (*baseline*) considera a continuação de práticas tradicionais pela entidade do projeto, com ineficiente carbonização, falta de tecnologia e de melhoramento de processo, devido a ausência de incentivos e a presença de outras barreiras. A prática existente na produção de carvão vegetal sempre enfatizou a produção volumétrica (m³/forno/mês), pois os preços sempre foram cotados em termos do volume produzido. Desta forma, sempre foi enfatizada a velocidade e ignorada a eficiência da carbonização. Na falta do projeto, o processo de

carbonização iria continuar focando no volume de carvão vegetal e no rendimento volumétrico.

O projeto identificou as seguintes adicionalidades:

1. A decisão de implementação do projeto se iniciou devido ao incentivo do MDL. Pesquisas foram iniciadas desde 2001, atingindo a maturidade no final de 2003, sendo implementadas pela primeira vez em julho de 2004.
2. O cenário do projeto considera que, na presença de incentivos, será implementado o desenvolvimento da tecnologia de carbonização, com financiamento e suporte de pesquisas.
3. O melhoramento do processo na indústria de carvão vegetal não corresponde a mudanças de preços. O que se observa é a natureza desorganizada do setor, onde o preço é dado em termos do rendimento volumétrico e não da eficiência da produção.
4. Considerando as existentes práticas industriais e a estrutura de custo, este investimento não seria realizado sem o incentivo do MDL.
5. O forno com chaminé para reduzir emissão de metano é o primeiro tipo implementado na indústria de carvão vegetal no Brasil.
6. A falta de conhecimento da tecnologia inibe investimentos e suporte para o seu desenvolvimento. Pesquisas mostram que o projeto do forno tem importante influência no processo de carbonização. O tamanho, localização e projeto das entradas de ar são importantes para a produção da chama e controle da temperatura. A produção de chama incontrolável resulta na emissão de metano. A implementação de desenvolvimentos requer protótipos e a instalação a nível comercial. A operação deve ser controlada, requerendo maior tempo para produção e organização do processo. O sistemático controle e monitoramento do rendimento gravimétrico só podem ser atingidos por medições precisas da madeira e do carvão. Programas de treinamento, sistema de medição e controle da qualidade são necessários. Todas estas mudanças de procedimento requerem uma grande quantidade de investimento e suporte.

7. Os custos de monitoramento da atividade do projeto deverão ser mais altos se comparados com o cenário base, devido à necessidade de pessoal treinado.
8. O projeto é considerado pioneiro. A prática comum de 33% é adotada. Se mais de 33% do grupo de controle, formado por 10 empresas competidoras, utilizar o desenvolvimento no processo de carbonização, similar às atividades do projeto, a entidade do projeto deverá explicar a adicionalidade. A informação de prática comum será importante para a reavaliação da *baseline*, no final de cada período de crédito.
9. O registro do projeto no MDL já ajudou a vencer algumas barreiras e permite a entidade do projeto a dar suporte em pesquisa de carbonização.

Monitoramento

A emissão na *baseline* é determinada pela medição da emissão de metano antes da implementação da atividade do projeto. Os dados do cenário base foram coletados de acordo com métodos de amostragem e estatística, conforme a metodologia aprovada pelo Comitê Executivo do MDL. Os dados foram analisados pelo Departamento de Estatística do IPEAD/UFMG. Ao final de cada período de crédito, a informação da prática comum deverá estar disponível a tempo para a reavaliação da *baseline*. Se novos valores mais conservadores estiverem disponíveis, estes também deverão ser considerados no período de reavaliação da *baseline*.

Este projeto não considera emissões de fuga (*leakage*), já que não utilizará madeira de fonte não-renovável. O transporte da madeira acontece tanto na *baseline* quanto no projeto. Se novos fornos forem construídos para a atividade do projeto, a emissão causada pela disposição dos fornos antigos deve ser levada em conta como emissões de fuga.

Devem ser monitorados e gravados a quantidade produzida de carvão vegetal, sua utilização final, a fonte da madeira, mudanças no processo de carbonização, variação no número de fornos, treinamentos realizados etc., conforme plano de monitoramento. O monitoramento deve ser feito mensalmente para a maioria dos dados, porém alguns dados devem ser medidos mais freqüentemente, como umidade da madeira e do carvão, que deve ser feita semanalmente. A média mensal do rendimento gravimétrico é estimada com base nos dados monitorados (massa de carvão

vegetal/massa de madeira). Os valores devem ser utilizados para calcular a emissão de metano por tonelada de carvão vegetal, conforme a regressão apresentada na equação 12. Esta equação foi estimada tendo como base pesquisas de carbonização, em conjunto com testes experimentais e atendendo às previsões estatísticas.

$$M = 147,0 - 340,37*Y \quad (12)$$

Onde:

M = fator de emissão de metano (kg de CH₄/tonelada de carvão vegetal)

Y = rendimento gravimétrico da carbonização (tonelada de carvão vegetal/tonelada de madeira, na base seca)

O fator de emissão do projeto é calculado utilizando a média dos rendimentos gravimétricos mensais, se a variação não for maior que 20%. Outra coleção deverá ser utilizada se a variação ultrapassar 20%.

O total de emissão do projeto por tonelada de CO₂ equivalente pode ser determinado pela equação 13:

$$PE_{CO_2e} = M_{(p)}/1.000 * GWP_{CH_4} * CP \quad (13)$$

Onde:

PE_{CO₂e} = total de emissão em CO₂ equivalente (toneladas/período de tempo)

M_(p) = fator de emissão de metano no cenário do projeto (kg CH₄/t de carvão)

GWP_{CH₄} = potencial de aquecimento global do metano = 21

CP = quantidade de carvão vegetal produzido (tonelada/período)

Os mesmos cálculos feitos para o projeto serão feitos para a *baseline*, sempre considerando uma variação máxima de 20% dos valores medidos. Destes cálculos encontram-se os valores de M_(b) (fator de emissão de metano no cenário base) e BE_{CO₂e} (total de emissão em CO₂ equivalente no cenário base em t/período de tempo). A redução de emissão é calculada pela diferença de emissão entre o cenário base e o projeto, conforme equação 14.

$$ER'_{sCO_2e} = BE_{CO_2e} - PE_{CO_2e} \quad (14)$$

A estimativa de emissão *ex ante* dos GEE pela fonte na *baseline* e a estimativa de redução *ex ante* da emissão de GEE pela fonte durante o período de crédito apresentadas a seguir foram calculadas utilizando a metodologia AM0041 “Mitigação das Emissões

do Metano na Atividade de Carbonização da Madeira para Produção de Carvão Vegetal”. aprovada pela UNFCCC.

Estimativa de emissão *ex ante* dos GEE pela fonte na *baseline*

As emissões do cenário base são calculadas pela aplicação do rendimento gravimétrico na *baseline* de 27,96% na equação 12. Pela equação 13 calcula-se o valor anual e cumulativo de emissão. O total de emissões para a *baseline*, no período de 2004 a 2025, foi de 3.228.117 t CO₂e.

Estimativa de redução *ex ante* da emissão de GEE pela fonte durante o período de crédito

As emissões de metano para o projeto foram baseadas em um rendimento gravimétrico inicialmente esperado de 36%. O total de emissões no período de 2004 a 2025 calculado foi de 1.524.006 t CO₂e.

A diferença entre a emissão da *baseline* e a do período do projeto é a emissão reduzida. O valor de emissão do projeto estimado é conservativo, sendo 0,02447 tonelada de CH₄ por tonelada de carvão vegetal produzido, com o fator de rendimento gravimétrico de 36%. A emissão do projeto é cerca de 53% menor que a da *baseline*, que é igual a 0,05183 tonelada de CH₄ por tonelada de carvão vegetal e rendimento gravimétrico de 27,96%. A redução da emissão de metano devido à atividade do projeto é de 1.704.111 t de CO₂e. Observa-se, na figura 22, a emissão de CO₂e cumulativa na *baseline* e no projeto.

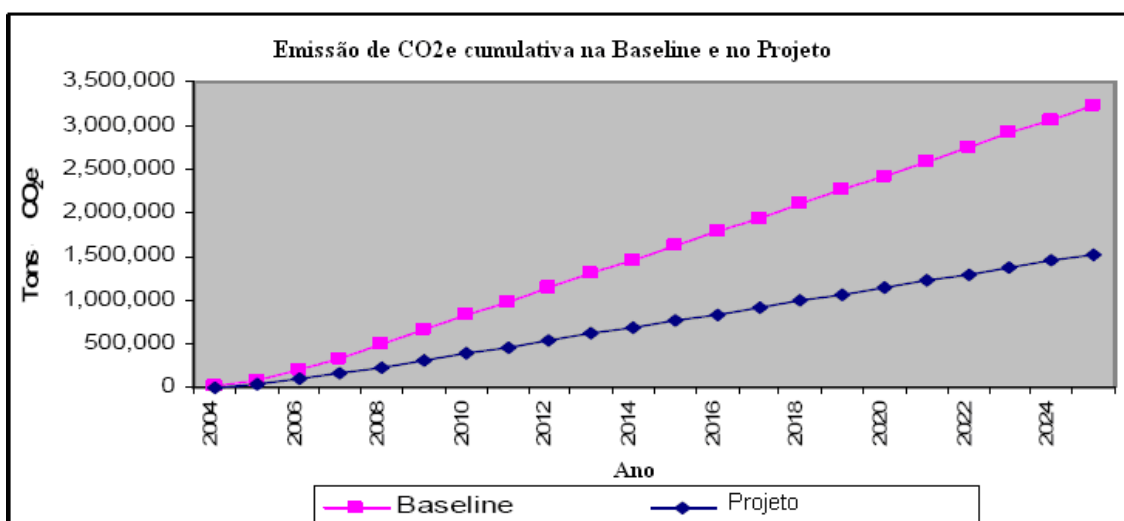


Figura 22 – Emissão de CO₂e cumulativa na *baseline* e no projeto
Fonte: Plantar, 2007

Impactos Ambientais - Para se ter certeza de que a madeira da atividade do projeto é obtida por fontes sustentáveis, a entidade do projeto deverá atender o manejo florestal de acordo com as condições legais, previsões de certificações e sistema apropriado de controle.

Comentário dos Acionistas - Os comentários dos acionistas enfatizaram a necessidade do projeto atender o desenvolvimento sustentável no nível regional e local.

9.2.3.3 Projeto Industrial

O projeto industrial estava em fase de elaboração em janeiro de 2008, no entanto, será feito um descritivo utilizando a documentação antiga do Projeto Plantar apresentada para o PCF (2007).

A *baseline* considera a descontinuidade da produção de ferro-gusa com carvão vegetal e a ocupação, no mercado, por grandes usinas que utilizam coque como agente redutor. O projeto considera o cálculo da quantidade de CO₂ emitido pela utilização do coque, sua produção e transporte.

O projeto deverá ser baseado na utilização do carvão vegetal oriundo de plantações de eucalipto. O cálculo do projeto deverá incluir as emissões de CO₂ no manuseio e produção do carvão vegetal (que deverá ser considerada igual zero a partir de 2009 devido a origem em fornecimento de florestas plantadas), e emissões relacionadas ao abate florestal e transporte.

O processo de transformação do carvão mineral em coque descarrega na atmosfera aproximadamente 0,403 toneladas de CO₂ por tonelada de ferro-gusa produzido (SAMPAIO *apud* Andrade, 2003). As emissões devido à extração do carvão mineral foram desconsideradas por acontecerem em outros países. O processo de produção do carvão vegetal emite 0,000017 N₂O por tonelada produzido e a produção do coque emite 0,000221 N₂O por tonelada produzido. Porém, as emissões de N₂O não serão objeto de geração de créditos, devido ao pequeno volume liberado. A principal fonte de emissão é derivada do processo industrial, especialmente das emissões que ocorrem durante o processo de redução dentro dos altos-fornos. As emissões totais do processo são de 1,530 toneladas de CO₂ por tonelada de ferro-gusa produzido (o processo requer 0,440 toneladas de carbono por tonelada de ferro-gusa produzido) tanto se utilizar coque como carvão vegetal. No caso do carvão vegetal, no entanto, esta etapa

é considerada neutra do ponto de vista de GEE, uma vez que o CO₂ emitido é oriundo da fixação de carbono da atmosfera nas florestas da Plantar. Deve ser ainda considerado que 0,043 t de carbono (0,158 t de CO₂) estarão fixadas em cada tonelada de ferro-gusa produzido (para o caso da utilização do coque o carbono é apenas transferido de um material para outro). O total de emissão evitada em um período de 28 anos do projeto (desconsiderando os 7 primeiros anos de plantio), para produção de 180.000 toneladas de ferro-gusa por ano, seria na ordem de 7.903.262 toneladas de CO₂e.

9.2.3.4 Descrição da negociação dos créditos

Segundo Cristiana de Oliveira, até hoje, a Plantar negociou créditos de carbono apenas com o Banco Mundial. Foi negociado 1,5 milhão t CO₂e, a US\$3,50 a tonelada. Ressaltando que este contrato foi assinado em 2002, época em que o mercado de carbono ainda não havia se estabelecido e oferecia muitos riscos. Por esse motivo, os preços estão bem abaixo da faixa em que os créditos são negociados hoje. Segundo Andrade (2003), a receita total oriunda da venda de créditos gerados pela Plantar é estimada em um montante superior a US\$35 milhões para um período de 28 anos, excluindo os já destinados ao PCF. Estes valores foram considerados nas condições do mercado em 2002.

Os créditos de carbono atualmente são negociados no mercado de várias formas, dependendo do país de origem ou da metodologia empregada. Os CERs (Certificado de Emissão Reduzida) são resultados de projetos de MDL; os ERUs (*Emission Reduction Units* - Unidades de Redução de Emissões) são resultados do JI; os EUAs (*European Union Allowances* - Permissões da União Européia) fazem parte do comércio de emissões da União Européia; os VERs (Verified Emissions Reduction - Reduções Verificadas de Emissões) são resultados de projetos negociados no mercado voluntário de carbono. Segundo a Carbono Brasil (2008), atualmente, os créditos são principalmente negociados nas seguintes Bolsas de Carbono:

- CCX - Bolsa do Clima de Chicago;
- CCFE - Chicago Climate Exchange Futures - Subsidiária da CCX;
- ECX - Bolsa do Clima Européia;
- NordPoll (Oslo);
- EXAA - Bolsa de Energia da Áustria;

- BM&F - Bolsa de Mercadorias e Fundos - Por enquanto somente trabalha com o leilão de créditos de carbono;
- New Values/Climex (Alemanha) - Mercado à vista (spot);
- Vertis Environmental Finance (Budapeste);
- Bluenext, antiga Powernext (Paris) - Bolsa formada no ano passado pela bolsa de valores internacional NYSE Euronext e pelo Banco Público Francês Caisse des Depots após a compra das atividades de carbono da Powernext.
- MCX - Multi-Commodity Exchange (Índia) - Maior bolsa de commodities da Índia. Lançou em 21 de janeiro de 2008 contratos futuros para a negociação de CERs com tamanho mínimo de 200 toneladas de CO₂e.

Os preços negociados na bolsa para os EUAs, nos contratos de 2008, têm variado em torno de 22 a 24 euros a tonelada de CO₂. Para os CERs já emitidos, os preços variam em torno de 14 a 18 euros a tonelada. Segundo o relatório da Point Carbon, de abril de 2008, os preços cotados para os CERs, em 1º de abril de 2008, variaram de 15,35 a 15,80 euros a tonelada de CO₂. Na figura 23 observa-se a variação, no período de 12 meses, do preço das EUAs e das CERs no mercado europeu para os contratos negociados de 2008.

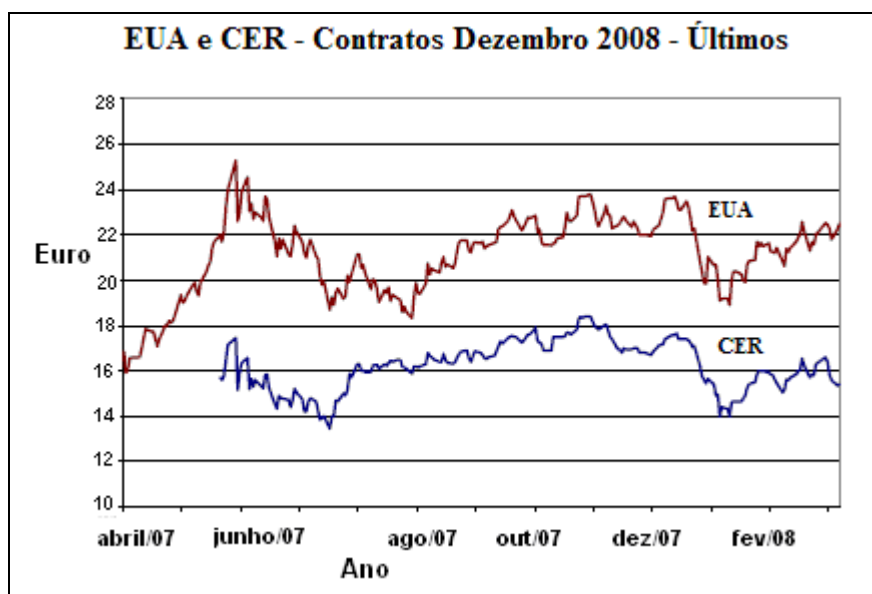


Figura 23 – Mercado de carbono segundo bolsas européias
Fonte: Point Carbon (2008)

Segundo a Carbono Brasil (2008), para o período de 2008-2012, a previsão é de que as CERs sejam comercializadas a 18 euros, conforme negociações realizadas na European Climate Exchange e Nord Poll. Na Bolsa Futura do Clima de Chicago (CCFE), que passou a negociar as CERs em agosto de 2007, fechou o ano de 2007 com o valor de 26,70 dólares para a negociação das reduções entre 2008 e 2012. Em relação às VERs, os valores negociados para o período de 2007 a 2010, ficaram na faixa de 2,15 dólares, em janeiro de 2008.

9.2.4 Estudo de caso – Empresa ArcelorMittal

9.2.4.1 Arcelor Mittal Aços Longos (Florestas e Juiz de Fora)

A ArcelorMittal Florestas, empresa do Grupo ArcelorMittal, atua no setor florestal, produzindo carvão vegetal a partir de florestas plantadas renováveis de eucalipto, nos estados de Minas Gerais e Bahia, abrangendo no total 32 municípios. Conhecida anteriormente por CAF Santa Bárbara, a empresa foi constituída em 1957 para fornecer carvão vegetal para a Usina de João Monlevade (ArcelorMittal, 2008).

A empresa possui uma área de 100 mil hectares de florestas plantadas de eucalipto e 40 mil hectares de preservação permanente e reserva legal. As práticas de manejo florestal são adotadas nas áreas pertencentes à empresa englobando: atuação baseada em estudos e avaliações ambientais; conservação dos recursos energéticos, proteção, educação e recreação aplicadas às florestas nativas e plantadas; desenvolvimento de práticas silviculturais cientificamente comprovadas; conservação da biodiversidade e proteção de espécies raras ou ameaçadas de extinção. A operação das florestas inclui a produção de mudas de alta performance (produtividade 35 m³/ha/ano), com total controle ambiental, formação das florestas, manutenção, colheita e produção de carvão. A empresa é certificada, desde 2004, pelo FSC (Forest Stewardship Council). O certificado é um indicador de que as operações florestais são realizadas de forma ambientalmente corretas, socialmente justa e economicamente viável. Além disso, nas localidades em que atua, são mantidos programas de desenvolvimento socioeconômicos e culturais, planejados para fomentar a geração de renda, incrementar o ensino público e a difusão cultural. Conforme informações da própria empresa, essas ações beneficiam diretamente cerca de 30 mil pessoas. A empresa também mantém, em suas regiões de atuação, programas de educação

ambiental com atividades para empregados, sociedade e comunidade escolar (ArcelorMittal, 2008).

A empresa objetiva o plantio de 31.000 hectares de novas florestas nas áreas existentes até 2009 e 30.000 hectares de novas florestas no Programa Produtor Florestal, até 2012, com a retirada de 15 milhões de toneladas de CO₂ da atmosfera. A ArcelorMittal Florestas tem capacidade de produzir 24 milhões de mudas de eucalipto/ano, em dois viveiros localizados nas regiões do Rio Doce e Centro Oeste de Minas. Em 2005, produziu 1 milhão de metros cúbicos de carvão vegetal a partir de florestas plantadas, com meta de produção de 2,6 milhões por ano até 2012.

O Programa Produtor Florestal consiste no plantio de florestas de eucalipto em parceria com os produtores rurais das regiões Sul, Zona da Mata e Centro-Oeste de Minas Gerais. Com ele, a ArcelorMittal Florestas espera obter uma fonte segura e sustentável de fornecimento de carvão vegetal para o próprio grupo. A iniciativa faz parte de um programa de sustentabilidade, que prevê a expansão da produção siderúrgica, acompanhada da plantação de florestas. O programa está aberto a proprietários rurais, que possuem propriedades legalizadas e localizadas a uma distância de 50 quilômetros dos pontos de entrega da madeira, com área mínima de 30 hectares para plantação. Os produtores contam com a assistência técnica da ArcelorMittal Florestas, que fornece as mudas clonais e insumos, executa o preparo do terreno, o plantio e as manutenções necessárias nos primeiros doze meses, além de garantir a compra de toda madeira produzida, a preços de mercado. Para assegurar a sustentabilidade do programa, o plantio do eucalipto não deverá exceder mais da metade da área produtiva da propriedade. Essa área será dividida em seis parcelas e a cada ano, uma será cultivada. Depois de plantada a sexta, o produtor passa a colher o que foi plantado na primeira, e assim sucessivamente, a cada ano. As vantagens para o produtor florestal são as fontes alternativas de renda, diversificação das atividades agrícolas, aprendizado da tecnologia de manejo praticada pela ArcelorMittal Floresta, entre outras. A comunidade também ganha, com a geração de empregos e aumento da arrecadação de impostos. As plantações seguem os padrões ambientais e obedecem ao Código Florestal (Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965), recompondo matas ciliares, além de reduzirem as pressões sobre as matas nativas. A ArcelorMittal Floresta se compromete a obter financiamento através do programa PROPFLORA, em nome do produtor florestal, a

juros de 8,75% ao ano e com prazo de 8 anos, sendo 6 de carência. Os recursos serão reembolsados na forma de fornecimento de madeira. A ArcelorMittal Floresta garante o financiamento e o pagamento dos juros. Com base no preço atual do mercado para madeira (R\$ 20,00 por estéreo), o ganho do produtor florestal com a comercialização da madeira será da ordem de R\$ 469 por hectare ao ano, a partir do sexto ano do plantio.

A ArcelorMittal Juiz de Fora possui 2 altos-fornos a carvão vegetal com 250 m³ de volume interno e produção anual de 360.000 t/ano cada. O alto-forno possui injeção de finos e despoeiramento independente do alto-forno e do manuseio de carvão vegetal. A usina produz produtos laminados longos e trefilados para a construção civil (arames, pregos e vergalhões) e para indústria geral (fio-máquina, arames e barras mecânicas).

Desde o final dos incentivos florestais na década de 80, a produção de madeira decresceu. Nesta mesma época o alto-forno da usina de Monlevade foi convertido a coque, decrescendo assim, a produção de carvão vegetal pela empresa. A retomada das atividades da ArcelorMittal Florestas aconteceu em 2001, com o início dos incentivos mundiais ligados à venda de créditos de carbono. A ArcelorMittal pretende ampliar o setor de carvão vegetal, com a expansão da produção de ferro-gusa sustentável, objetivando a venda de créditos, especialmente para as empresas do grupo pertencentes ao Anexo I.

9.2.4.2 ArcelorMittal Inox (Timóteo / Jequitinhonha)

A ArcelorMittal Inox é a única produtora integrada de aços inoxidáveis e siliciosos da América Latina, produzindo, em 2006, 800 mil toneladas de placas e 770 mil toneladas de bobinas a quente. A usina, em Timóteo, possui dois altos-fornos, sendo que o alto-forno 1, com capacidade de 250 mil toneladas por ano, utiliza carvão vegetal como redutor. A empresa realiza um programa interno de educação ambiental e investe em programas de educação, cultura, meio-ambiente e ação comunitária, sendo considerada, em 2007, pela revista Exame, uma das 20 empresas-modelo em responsabilidade social corporativa no Brasil.

A ArcelorMittal Jequitinhonha tem como objetivo atender e abastecer com carvão vegetal a usina de Timóteo, através da gestão de todo o processo florestal e de carbonização. Todo manejo das florestas plantadas segue as mais rígidas normas internacionais ambientais. A ArcelorMittal Jequitinhonha teve seu início em 1974,

atuando no vale do Jequitinhonha. Hoje está presente em cinco municípios. A empresa ocupa uma área de 126.000 hectares, sendo 76.000 hectares de mata plantada, com produção de 700.000 m³ de carvão vegetal em 2007 e expectativa de expansão para 2 milhões de m³ em 2010. A produção de mudas com alta tecnologia é feita em um viveiro com capacidade de 23 milhões de mudas por ano. A produção de carvão vegetal é feita em fornos com descarga mecânica. Os gases provenientes do processo de carbonização são eliminados por um sistema de queima dos gases.

A ArcelorMittal Inox participa de projetos de crédito de carbono. Parte dos projetos de reflorestamento e florestamento não elegíveis ao MDL estão sendo negociados com a bolsa do Clima de Chicago (CCX - Chicago Climatex Exchange). Outros projetos, elegíveis ao MDL, estão sendo desenvolvidos, como o Programa Produtor Florestal, redução de emissão de metano nos fornos de carbonização da ArcelorMittal Jequitinhonha, redução de emissão de CO₂ no alto-forno 2 da ArcelorMittal Timóteo, com a utilização de carvão vegetal (ArcelorMittal Timóteo / Jequitinhonha, 2007).

Projeto de Redução da Emissão de Metano

O projeto tem como objetivo a redução de metano no processo de produção do carvão vegetal. A empresa utilizará a Metodologia aprovada AM0041, elaborada pela empresa Plantar. A metodologia é baseada na correlação linear entre o rendimento gravimétrico e a emissão de metano (quanto maior o rendimento gravimétrico, menor a emissão de metano).

O projeto do forno de carbonização vem sendo desenvolvido pela empresa ao longo dos últimos 35 anos. Nos anos 70, o forno era rudimentar de alvenaria com 9m³. Nos anos 80, foram desenvolvidos fornos circulares de 40m³ com uma chaminé. Nos anos 90, foi desenvolvido um forno retangular equipado por uma grande porta metálica com 40 m³ (RAC 40), que permitiu a mecanização do carregamento e descarregamento. Este forno tinha 110 m³ (RAC 110) no final dos anos 90 e 220 m³ (RAC 220) no início de 2000, possuindo uma proteção metálica, que permite uma campanha de 20 anos. Com o início do projeto para a redução de metano, a ArcelorMittal Jequitinhonha lançou o forno com capacidade de 1000 m³ (RAC 700). Na figura 24 é mostrada a evolução dos fornos de carbonização na ArcelorMittal Jequitinhonha.



Figura 24 – Evolução dos fornos de carbonização.
 Fonte: ArcelorMittal Timóteo /Jequitinhonha, 2007

O projeto contempla no desenvolvimento de um novo forno que queima os gases provenientes da carbonização, com aproveitamento da energia nas etapas de secagem e resfriamento. A caracterização do processo e a medição das emissões serão realizadas por uma empresa terceirizada. Serão medidos os valores do processo atual e o novo otimizado. Com isso, a equação de correlação do rendimento gravimétrico com a emissão de metano poderá ser estabelecida. O cronograma do projeto inclui: realização das medições e definição da equação (em andamento); elaboração do projeto de desenvolvimento limpo (previsão - março de 2008); registro dos CERs (previsão – final de 2008). O projeto pretende melhorar em 3 a 5% o rendimento gravimétrico, que para o RAC 220 é de 28%. Com estes valores, espera-se uma redução acumulada de CO₂ de até 4.000 kg/m³ de carvão em 10 anos, conforme apresentado na figura 25.

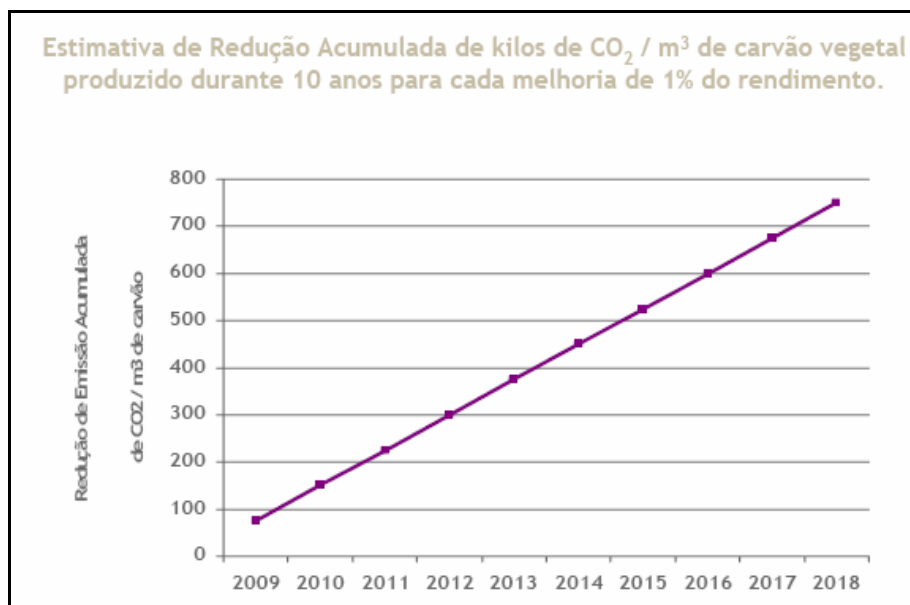


Figura 25 – Estimativa de redução acumulada no projeto de carbonização da ArcelorMittal Inox.
Fonte: ArcelorMittal Timóteo /Jequitinhonha, 2007

9.2.5 A situação da infra-estrutura brasileira

Em linhas gerais, o Brasil ainda guarda concepções regulatórias no setor de transportes, ancoradas no modelo protecionista dos anos 60 e 70, inibindo a competição no mercado brasileiro entre empresas operadoras nacionais e estrangeiras (IBS, 2008). Persistem dificuldades para colocar em prática os novos esquemas de logística de transporte adotados nos países desenvolvidos e reduções de custo proporcionadas por modernas técnicas de gerenciamento. Esta situação prejudica o esforço de adequação do setor produtivo aos padrões de competição e de qualidade internacionais. A Revista Veja de 8 de agosto de 2007 afirma que é mais difícil, mais lento e mais caro transportar mercadorias pelo Brasil. Segundo Gene Huang, economista-chefe da FedEx Corporation (*apud* Revista Veja, 2007), a infra-estrutura brasileira está a há muito tempo sem investimento. A China, no entanto, vem fortalecendo esse setor há trinta anos. O Brasil investe hoje em infra-estrutura cerca de 3% do PIB, frente aos 6% investidos até o início dos anos 80.

O sistema ferroviário brasileiro totaliza 29.706 quilômetros, concentrando-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do País. É mostrado na figura 26 que o setor ferroviário participou na matriz de transporte de carga do Brasil com o percentual de 20,86%, em 2000, considerando o total da carga

transportada no País. O modal ferroviário caracteriza-se, especialmente, por sua capacidade de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. Apresenta, ainda, maior segurança, em relação ao modal rodoviário, com menor índice de acidentes e menor incidência de furtos e roubos. São cargas típicas do modal ferroviário brasileiro: produtos siderúrgicos; grãos; minério de ferro; cimento e cal; adubos e fertilizantes; derivados de petróleo; calcário; carvão mineral e clínquer; e contêineres.

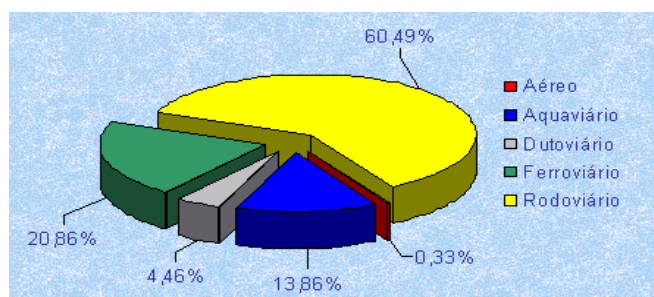


Figura 26 – Composição Percentual das Cargas em 2000
Fonte: GEIPOT *apud* ANTT (2008)

Porém, ultimamente, o setor tem recebido pouco investimento. Segundo a Revista Veja (2007), o governante que mais construiu ferrovias foi dom Pedro II, o pioneiro a fazê-lo no País, ainda no século XIX. Nesta época foram construídos 9.000 quilômetros de trilhos. O governo de Juscelino Kubitschek desenvolveu como principal, no Brasil, o setor rodoviário. Na época, a malha férrea regrediu e hoje a extensão é idêntica à do início do século passado. As malhas são antiquadas e estão à beira da saturação, passando por centros urbanos, o que obriga a redução da velocidade. A velocidade média dos trens no Brasil é de 25 km/h, comparado com os 300 km/h da França e 64 km/h dos Estados Unidos. A partir de 1996, houve certo progresso desde a concessão das linhas à iniciativa privada, porém a malha não foi expandida e estima-se chegar ao limite em 2010 (Revista Veja, 2007). O Brasil possui um índice de 221 bilhões de toneladas transportadas por quilômetro de ferrovia, semelhante ao índice dos Estados Unidos na década de 30. O índice norte americano de hoje chega a 2,7 trilhões e o chinês, 2,2 trilhões.

O transporte rodoviário é o dominante no Brasil. O Brasil em 2004 possuía 1.610.076 km de estradas, sendo apenas 196.095 km pavimentadas. Na mesma época, menos de 10% das rodovias pavimentadas haviam sido concedidas à iniciativa privada (ANTT, 2008). O trânsito é uma das principais causas de morte no País, com 6.000

pessoas morrendo por ano, apenas nas estradas federais. A baixa qualidade das estradas prejudica a competitividade do País, com fretes mais caros e demorados, se comparado aos dos países desenvolvidos. A precariedade das rodovias reduz a vida útil das peças de caminhões, sendo uma das causas do encarecimento do frete.

Segunda a Revista Veja (2007), os portos brasileiros também dificultam a competitividade na exportação. A maioria dos portos dedica-se quase exclusivamente à exportação de commodities e apenas uma minoria pertence a empresas privadas (Ministério dos Transportes, 2008). O Porto de Santos, o maior em movimentação de mercadorias do País, tem uma das mais baixas produtividades do mundo, levando até 10 dias para liberar uma mercadoria, em comparação com os portos dos Estados Unidos com 5 dias e da Suécia com 2 dias. A produtividade baixa é consequência da pouca tecnologia, além do baixo calado (profundidade). Devido à baixa profundidade, os portos recebem navios menores, com até 6.000 contêineres. Nos grandes portos internacionais, os cargueiros atracam com o dobro da capacidade. Com isso, os exportadores têm que distribuir a mercadoria em navios menores, pagando assim, fretes maiores. A taxa portuária brasileira, segunda a Revista Veja (2007), é de US\$328 por contêiner de mercadoria, frente aos US\$259 dos EUA, US\$110 da China e US\$75 da Malásia.

O setor siderúrgico se caracteriza por ser usuário intensivo dos sistemas de transportes. Isso acontece tanto por sua escala de produção, como pelo fato de que, em média, para cada tonelada de produto produzido, consome-se 2,7 toneladas de insumos. Além disso, sendo seus produtos de baixo valor unitário e de alta densidade, o frete tem elevada participação na formação de seu custo (IBS, 2008). Por essa razão, a competitividade do setor depende em muito da eficiência e dos custos dos sistemas de transportes. No que se refere aos portos, além de grande exportador, o setor importa grandes volumes de carvão mineral, razão pela qual a eficiência e custos do sistema portuário são também relevantes.

9.3 Destaques dos dados da literatura

Conforme apresentado, o material particulado é um dos principais efluentes atmosféricos gerados no processo de produção do ferro-gusa. Os gases do efeito estufa (CO₂, CH₄) também são liberados, principalmente no topo, nas descargas das válvulas *bleeders*, nas chaminés dos regeneradores e após a queima dos gases não utilizados no

processo. A otimização do processo e o aproveitamento de energia é uma forma de se diminuir a emissão dos GEE. O IISI estima que a siderurgia seja responsável por 3% das emissões globais de GEE. Estas emissões ocorrem principalmente no processo de redução do minério de ferro, porém não se conhece alternativa para produção de aço sem a redução. Uma opção apresentada pelas empresas brasileiras candidatas ao MDL para reduzir a emissão dos GEE é a utilização de carvão vegetal de florestas plantadas, em substituição ao coque. Dois projetos são citados por estarem em alguma das fases do MDL: o Projeto Plantar e os projetos da ArcelorMittal.

O Projeto Plantar se divide em componente florestal, carbonização e industrial. O projeto de carbonização já foi validado e registrado no MDL. O projeto florestal está em fase de validação e o projeto industrial está em fase de elaboração. O projeto florestal objetiva a plantação de madeira em terras elegíveis ao MDL para utilização como fonte de energia renovável. A plantação foi estabelecida dentro de uma área de 11.683 hectares e o projeto terá duração de 28 anos. As primeiras plantações de eucalipto ocorreram em 2001, quando se iniciaram as atividades do projeto, devido aos incentivos do MDL. A estimativa total de remoção de GEE é de 2.556.757 t CO₂e. O projeto de carbonização visa melhorar o rendimento gravimétrico e conseqüentemente diminuir a emissão de metano. O projeto utiliza fornos de carbonização mais modernos, controle do processo e padronização da produção, com treinamento operacional e adoção de instrumentos para medir e monitorar as emissões. As atividades iniciaram-se em julho de 2004, devido aos incentivos do MDL. A maioria dos fornos de carbonização valoriza o rendimento volumétrico e não o rendimento da produção, e os preços do mercado são baseados no volume. O período total de crédito é de 21 anos. A redução total esperada de metano para o período é de 1.704.11 t de CO₂e. O projeto industrial visa a substituição do coque pelo carvão vegetal na produção de ferro-gusa. A liberação do CO₂ na produção do carvão e do ferro-gusa é considerada zero quando se utiliza carvão vegetal, visto a fixação de carbono nas florestas plantadas. A redução da emissão do projeto preliminar apresentado ao PCF é de 7.903.262 t de CO₂e. Os créditos negociados ao PCF pela Plantar até agora valeram US\$3,5/t. Hoje os créditos já são negociados no mercado europeu a 15 €/t para os CERs. Os créditos voluntários estão sendo negociados a US\$2,15/t.

A Arcelor Mittal Florestas produz carvão vegetal de florestas plantadas para os fornos da usina de Juiz de Fora. A empresa possui 100 mil hectares de florestas plantadas, com a intenção de expandir mais 60.000 hectares até 2012. A plantação é realizada de forma sustentável e se utiliza do programa produtor florestal para expandir a produção. Os incentivos do MDL possibilitaram o aumento da produção, principalmente para a venda de créditos dentro do grupo. A ArcelorMittal Jequitinhonha produz carvão vegetal para os fornos da usina de Timóteo. A empresa possui 76.000 hectares de mata plantada com produção de 700.000 m³ de carvão vegetal e com expectativa de expansão para 2 milhões de m³ em 2010. Créditos não elegíveis são negociados com o CCX e o projeto florestal, carbonização e industrial estão sendo iniciados para registro no MDL. O projeto de carbonização inclui a utilização de um forno de 1.000 m³, mecanizado e que aproveita os gases da carbonização nas etapas de secagem e resfriamento. O projeto estima uma redução das emissões de CO₂e de 4.000 kg/m³ de carvão em 10 anos.

Porém a infra-estrutura precária brasileira dificulta a capacidade de produzir bens de forma competitiva no mercado internacional (Revista Veja, 2007). Isso porque rodovias e portos ineficientes produzem gastos adicionais que limitam a capacidade de produzir e expandir seus lucros. É preciso meios adequados para que as empresas possam produzir, transportar mercadorias e exportar. Segundo estimativas do economista Sérgio Vale (*apud* Veja, 2007), da consultoria MB Associados, a taxa de crescimento do Brasil está limitada a 4%. Sem os problemas de infra-estrutura, o País poderia crescer até 6% ao ano. A Revista Veja (2007) sugere algumas ações a serem tomadas para reerguer a curto prazo a infra-estrutura do País. A alternativa é a concessão ao setor privado e o aumento das Parcerias Público-Privadas.

10 SÍNTESE DOS DADOS

Os principais dados apresentados durante o trabalho estão sumarizados e discriminados em termos dos capítulos em que aparecem.

Capítulo 3

Concentração dos Gases do Efeito Estufa na Atmosfera

Antes de 1750	2005	
280 ppm	379 ppm	CO ₂
0,7 ppm	1,7 ppm	CH ₄
0,262 ppm	0,319 ppm	N ₂ O

Produção brasileira de ferro-gusa

2006	2007	
22,985 milhões t	25,943 milhões t	usinas integrada
1,709 milhões t		usina integrada com carvão vegetal
21,276 milhões t		usina integrada com coque
9,467 milhões t	9,628 milhões t	produtores independentes

Capítulo 6

Plantações de Eucalipto no Brasil em 2006

1,8 milhões de hectares

Produção de carvão vegetal oriundo de plantio florestal

2006	esperada para 2010
18 milhões mdc	53 milhões mdc

Consumo da Indústria de ferro-gusa a carvão vegetal de matas nativas

2003	2004
0,93 milhões mdc	2,44 milhões mdc

Característica do Eucalipto

Ciclo	7 anos para produção do carvão
Produtividade	~41 m ³ /ha/ano
Fixam	9,2 t Carbono/ha/ano no Brasil
Composição	50% celulose / 25% hemicelulose / 25% lignina
madeira seca	50% Carbono / 44% oxigênio / 6% hidrogênio
Distribuição de carbono	65% no tronco / 13% na copa / 22% na raiz
Ferro-gusa a carvão vegetal	captura 890 kg de CO ₂ /t de ferro-gusa libera 203 kg de O ₂ /t de ferro-gusa

Estudo de Scarpinella (2002)

Plantação	9.500 hectares
Prazo	14 anos
Captura	37,72 t de biomassa
Captura	17.36 t de carbono equivalente
Carbono fixado por ano	164.920 t

Área necessária para suprir a indústria de ferro-gusa com florestas plantadas

Produção MG	16 milhões t de ferro-gusa
consumo específico carvão	~2,8 - 3 mdc/t de ferro-gusa
consumo específico madeira	~1,8 - 2 st de madeira/mdc
Produção florestal	~50 - 60 st/ha/ano
Área necessária	32,168 km ²
Produção Brasileira	35,6 milhões t de ferro-gusa
Área necessária	71,284 km ²

Capítulo 7

Propriedades físicas e química

Carvão Vegetal	Coque	
65-75%	~88%	Carbono Fixo
25-35%	~1%	Voláteis
2-5%	10-12%	Cinza
0,03 - 0,1%	0,45-0,70	Enxofre
10-80 kg/cm ²	130-160 kg/cm ²	Resistência à compressão
180-350 kg/m ³	550 kg/m ³	Densidade

Características do Alto-Forno

Carvão Vegetal	Coque	Alto-Forno
40 a 1.200 t/d	2.000 a 12.000 t/day	Produção
~16 m	~32 m	Altura do Forno
Fósforo Alto	Enxofre Alto	Gusa
<1	>1	Escória CaO/SiO ₂

Produção e Consumo Brasileiro

Consumo de carvão mineral	14,34 milhões de tep	em 2007
Consumo de coque	8,3 milhões t	em 2006
Biomassa	45,8% da Matriz Energética Brasileira	em 2007
Produção carvão vegetal	9,6 milhões t	em 2006
Consumo de carvão vegetal	7,2 milhões t	em 2006 pela indústria de ferro-gusa e aço
Consumo específico	0,48 t/t gusa	coque
Consumo específico	3,2 mdc/t gusa	carvão vegetal
Consumo específico	0,65 t/t gusa	carvão vegetal
Fornos de superfície	1,7 st/mdc	rendimento

Projeto Sol Coqueria - Candidato ao MDL

Redução de 3,4 milhões t CO₂e em 10 anos

Capítulo 8

Total de Projetos do MDL	março/2008
Brasil	274
Mundo	3101

Redução de emissão de CO₂eq para o primeiro período de obtenção de crédito

Brasil 276 milhões t de CO₂ 6% do total mundial

Capítulo 9

Emissões diretas de CO₂ na siderurgia mundial

3% do total de emissões antropogênicas

Plantar - Projeto Florestal

Plantação Eucalipto 407 ha/ano (1988 / 2000) 12,33% da área necessária

Estimativa de remoção de CO₂ devido às plantações existente

363.105 t de CO₂e por 28 anos 12.968 t de CO₂/ano

Estimativa de remoção de CO₂ devido às plantações novas (11.683 hectares)

2.944.889 t de CO₂ por 28 anos 105.175 t de CO₂/ano

Estimativa de emissões de fuga

25.027 t de CO₂ por 28 anos 894 t de CO₂/ano

Estimativa de remoção de CO₂ total devido as novas plantações

2.556.757 t de CO₂ por 28 anos 91313 t de CO₂/ano

Plantar - Projeto Carbonização

Emissão no cenário base: rendimento gravimétrico da carbonização de 27,96%

3.228.117 t de CO₂e por 21 anos 153.720 t de CO₂/ano

Emissão no projeto: rendimento gravimétrico de 36%

1.524.006 t de CO₂ por 21 anos 72.572 t de CO₂/ano

Estimativa de emissões de fuga

0 (zero)

Estimativa de redução da emissão devido à atividade do projeto

1.704.111 t de CO₂ por 21 anos 81.148 t de CO₂/ano

Plantar - Projeto Industrial

O processo de transformação do carvão mineral em coque

Emissão 0,403 t de CO₂e/t ferro-gusa

Produção de ferro-gusa com coque

Emissão 1,53 t de CO₂e/t ferro-gusa

Produção de ferro-gusa com carvão vegetal: Etapa considerada neutra

Emissão	1,53 t de CO ₂ /t ferro-gusa	
Consumo	1,53 t de CO ₂ /t ferro-gusa para fixação das florestas	
Fixação no ferro-gusa	0,158 t de CO ₂ /t ferro-gusa	
Capacidade da Plantar	180.000 t ferro-gusa/ano	
Período	28 anos - 7 anos do primeiro plantio	
Emissões evitadas	7.903.262 t CO ₂	Ferro-gusa com carvão vegetal

Preços do Mercado de Créditos de Carbono

22 a 24 euros	Preços da EUAs entre abril 2007 a fevereiro de 2008
14 a 18 euros	Preços da CERs entre abril 2007 a fevereiro de 2008
2,15 dólares	Preço das VERs em janeiro de 2008

Projeto ArcelorMittal Aços Longos

Florestas Plantadas	100 mil hectares	
Área de preservação	40 mil hectares	
Produtividade	35m ³ /ha/ano	
Expansão do Plantio	31 mil hectares	até 2009
Programa produtor florestal	30 mil hectares	até 2012
Estimativa de Remoção	15 milhões t CO ₂	
Produção de mudas	24 milhões de mudas de eucalipto/ano	
Produção de carvão	1 milhão mdc	em 2005
Produção de carvão	2,6 milhões mdc	até 2012
Altos-fornos	2 em Juiz de Fora	
Capacidade	360.000 t/ano cada	

Projetos ArcelorMittal Inox

Alto-Forno a carvão vegetal	1 em Timóteo	
Capacidade	250 mil t/ano	
Mata plantada	76 mil hectares	
Produção	700 mil mdc	em 2007
Expansão da Produção	2 milhões de mdc	até 2010
Produção de mudas	23 milhões de mudas de eucalipto/ano	
Projeto de carbonização para obtenção de CERs		
Redimento gravimétrico	28%	RAC220
Rendimento gravimétrico	Melhorar em 3 a 5%	
Redução da Emissão	~800 kg de CO ₂ e/mdc produzido para cada 1% de melhoria do rendimento por 10 anos	

11 CONCLUSÕES

A história demonstrou a dificuldade no estabelecimento da siderurgia no Brasil, primeiramente dificultado por Portugal, depois, devido a condições econômicas e políticas internas e externas, falta de mão-de-obra capacitada e falta de infra-estrutura. Depois de enfrentada as dificuldades, a história demonstrou a capacidade do Brasil em produzir ferro-gusa a partir de carvão vegetal, mesmo após a preferência do governo pela grande siderurgia a coque. A indústria a carvão vegetal é, até hoje, parte importante da produção de ferro-gusa nacional.

No Brasil, as plantações florestais têm alta produtividade e baixo custo, sem competir com a produção de alimentos. O eucalipto, principal gênero plantado no Brasil, tem um dos maiores índices de produtividade do mundo, acima de 40m³/ha. Segundo apresentado, as florestas de eucalipto não são responsáveis por problemas ambientais diferentes de uma monocultura, sendo o sistema que mais se aproxima das florestas nativas, além de proporcionar um aumento da dinâmica econômica do local, melhorando as condições sociais. Porém, o alto déficit florestal e altas taxas de desmatamento indicam o consumo elevado de madeira nativa para a produção de carvão vegetal. O mercado de carbono aparece como um incentivo às plantações florestais, aumentando sua viabilidade. Além de fixar 9,2 t/ha/ano, um dos maiores índices do mundo, as florestas de eucalipto são capazes de suprir todo o fornecimento de carvão vegetal para produção do ferro-gusa nacional com a plantação de apenas 1% do território brasileiro.

Foram apresentadas as diferenças nas propriedades físicas e químicas do carvão vegetal em relação ao coque, e a principal consequência se refere à limitação da capacidade das unidades, para o caso da utilização do carvão vegetal. Porém, o produto resultante da utilização do carvão vegetal como redutor é isento de enxofre, facilitando o refino nas aciarias. A vantagem adicional da utilização do carvão vegetal na produção de ferro-gusa é a capacidade de armazenar carbono, se for gerado a partir de florestas plantadas. As principais desvantagens são a dependência da mão-de-obra, dos programas de reflorestamento, o maior consumo e a menor resistência à degradação do carvão vegetal, responsável pela limitação da capacidade dos altos-fornos. O preço do coque varia conforme o mercado internacional e o preço do carvão vegetal de acordo com as condições edafoclimáticas. Os valores do coque estão com tendência de

aumento em 2008, favorecendo economicamente a utilização do carvão vegetal. Os valores do carvão vegetal são favorecidos para os casos de alta densidade. A valorização do real em relação ao dólar favorece a utilização do coque. Os valores dos últimos dez anos apresentaram custos muito próximos para produzir uma tonelada de ferro-gusa com carvão vegetal e com coque mineral, não podendo atribuir significativa economia de um dos redutores em relação ao outro.

Conforme apresentado neste trabalho, o Brasil tem contribuído com programas que objetivam o combate às mudanças climáticas. O Brasil é o terceiro país do mundo em números de projetos no MDL e em total de emissões reduzidas. Diversos programas do governo incentivam a obtenção destas reduções certificadas.

Na siderurgia, o alto-forno produz gases do efeito estufa, principalmente no processo de redução do minério de ferro. Como não existe processo de produção de ferro-gusa sem a redução do ferro, as alternativas que minimizam os efeitos são o aproveitamento da energia e dos gases do topo e otimização do processo. Outra forma de diminuição da emissão destes gases pela siderurgia é a utilização de carvão vegetal de florestas plantadas nos altos-fornos. Para este caso, a emissão durante o processo de redução é considerada neutra do ponto de vista de GEE, uma vez que o CO₂ emitido é oriundo da fixação de carbono da atmosfera nas florestas plantadas. Os projetos da Plantar e da ArcelorMittal objetivam essas reduções certificadas nos projetos florestal (plantações em áreas elegíveis), de carbonização (redução da emissão de metano na produção de carvão vegetal), e industrial (produção de ferro-gusa com carvão vegetal como redutor). Os avanços dos projetos siderúrgicos, em geral, são dificultados pela infra-estrutura brasileira, com ferrovias ultrapassadas e de pouca extensão, rodovias mal-conservadas e portos sem tecnologia e com baixa profundidade.

Desta forma, este estudo mostrou a possibilidade de substituição, no Brasil, do coque pelo carvão vegetal na produção do ferro-gusa, com algumas adaptações no processo. O principal objetivo destes projetos de substituição é a alternativa viável para redução das emissões dos gases do efeito estufa. O MDL incentiva os projetos como forma de viabilizá-los através das vendas de crédito, ou da possibilidade de transferência de créditos da filial para a matriz pertencente aos países do Anexo I. A produção sustentável de carvão vegetal a partir de plantações de eucalipto foi apresentada nos dois estudos de caso. O projeto da Plantar demonstrou sustentabilidade

e possibilidade de redução dos GEEs por já ter parte de seu projeto validado pelo Comitê Executivo do MDL.

12 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Pesquisar sobre o histórico da poluição ambiental atmosférica no setor siderúrgico no Brasil, mostrando, com este enfoque, o desenvolvimento tecnológico ao longo do tempo;
2. Detalhar o cálculo da área necessária para a plantação de eucalipto para a produção do ferro-gusa, considerando as diversas variáveis, incluindo a perda de produtividade ao longo dos dois últimos ciclos. Analisar a disponibilidade destas terras, localização, necessidades e fazer um estudo de implantação.
3. Estudo completo e detalhado de viabilidade das florestas plantadas de eucalipto para produção de carvão vegetal, considerando a atual condição do mercado internacional e do mercado de carbono.
4. Estudo detalhado dos diferentes processos de produção de carvão vegetal, comparando as vantagens e desvantagens de cada um e fazendo um estudo de viabilidade.
5. Análise econômica detalhada do custo do carvão vegetal e do coque no mercado, comparando os valores de venda e valores de custo.
6. Estudo detalhado dos projetos da ArcelorMittal que objetivam obtenção dos CERs e do projeto industrial da Plantar.

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF, 2007, ano base 2006. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/>> Acesso em: fevereiro de 2008.

ACESITA - Disponível em: <<http://www.acesita.com.br>> Acesso em: março de 2008.

AÇOMINAS - Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/A%C3%A7ominas>> Acesso em: maio de 2007.

AMDA - Disponível em: <<http://www.amda.org.br/base/lista-suja>> Acesso em: novembro de 2006.

ANDRADE, Alexandre Mattos de. A Criação de Valor para Pequenas Empresas Brasileiras de Siderurgia a partir da Inserção no Mercado de Carbono: Um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. 154 p.

ANTT - Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp>> Acesso em: fevereiro 2008.

ARAUJO, Luiz Antônio de. Siderurgia. São Paulo: Editora LEMA Ltda, 1997.

ARCELORMITTAL - Disponível em: <<http://www.arcelormittal.com/br/>> Acesso em: março de 2008.

ARCELORMITTAL Timóteo / Jequitinhonha. Projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. Apresentação Ecolatina. 19 de outubro de 2007. Disponível em: <http://www.ecolatina.com.br/pdf/anais/Workshop_Mudancas_Climaticas_Siderurgia/BenoitCarrier.pdf> . Acesso em: fevereiro de 2008.

ASSOCIAÇÃO Mineira de Silvicultura – AMS. Silvicultura desenvolvimento social, econômico e ambiental com plantios florestais. Encarte. 2004.

ASSOCIAÇÃO Mineira de Silvicultura – AMS. AMS Informa. Ano II. Edição 4. Julho 2007. Disponível em <www.sivilminas.com.br> . Acesso em maio de 2008.

BP - Disponível em: <<http://www.bp.com/multipleimagesection.do?categoryId=9017892&contentId=7033503>> Acesso em: março 2008.

BRANDT, D. J. O. The manufacture of iron and steel: a comprehensive course for operatives. 2nd. ed. London: The English Universities, 1960. 399p.

BUREAU of Meteorology - BOM. The Greenhouse Effect and Climate Change. Australian Government, 2003. 74 p. Disponível em: <www.bom.gov.au/info/GreenhouseEffectAndClimateChange.pdf> Acesso em: agosto de 2008.

CAF – Grupo Arcelor. Manual do Produtor Florestal – Programa Produtor Florestal. 2007.

CARBONO Brasil - Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com>> Acesso em: abril de 2008.

CHICAGO Climate Exchange - CCX- Disponível em: <<http://www.chicagoclimatex.com/market/data/summary.jsf>> Acesso em: dezembro de 2007.

COSIPA - Disponível em: <www.cosipa.com.br> . Acesso em: março de 2008.

COUTO, L., et al. Florestas plantadas para energia: aspectos técnicos, sócio-econômicos e ambientais. UFV, Departamento de Engenharia Florestal, 2001.

CSN - Disponível em: <www.csn.com.br> Acesso em: março de 2008.

DE NEVERS, Noel. Air pollution control engineering. 2. ed. Boston: McGraw-Hill, 2000. 586 p.

DERISIO, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.

FARIA, R. A. T. Risco Brasil e Endividamento Externo e Fiscal. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Instituto COPPEAD de Administração, Rio de Janeiro, 2007. 63 p.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda, 1910-1989. Novo Aurélio da Língua Portuguesa. 3.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FERREIRA, D. Q. G. Privatização da CSN: Resistência e Adaptação do Sindicato dos Metalúrgicos sob a Perspectiva de Dependência de Recursos. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Instituto COPPEAD de Administração, Rio de Janeiro, 2005. 336 p.

FOOD and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. State of the world's forests 2007. Rome, 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/site/sofo/en/>>. Acesso em: março de 2008.

FREYRE, Gilberto. Ferro e civilização no Brasil. Recife: Rio de Janeiro: 1988. 467p.

GOMES, Francisco de Assis Magalhães. Historia da siderurgia no Brasil. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1983. 409p.

GUIA Exame 2007. Sustentabilidade. Editora Abril: dezembro de 2007.

IBAMA, MMA. Desmatamento: Informativo Técnico No1. Brasília-DF. Setembro de 2003. Versão 3.

INSTITUTO Brasileiro de Siderurgia – IBS - Disponível em:
<http://www.ibs.org.br/index.asp>. Acesso em: março de 2008.

INSTITUTO Brasileiro de Siderurgia – IBS. Anuário Estatístico. Rio de Janeiro: IBS, 2007.

INTERGOVERNMENTAL Panel on Climate Change - IPCC - The AR4 Synthesis Report/ Working Group I Report "The Physical Science Basis"/ Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability / Working Group III Report "Mitigation of Climate Change". Disponível em: <www.ipcc.ch> Acesso em: novembro de 2007.

JACOMINO, V. M. F.; DE CASTRO, L. F. A; RIBEIRO, E. D. L.; LEÃO, M. M. D.; DE SOUZA, C. M.; GOMES, A. M.; ALMEIDA, M. L. B.; LOPES, L. E. F. Controle Ambiental das Indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302p.

KORTHAS, B.; PETERS, M.; SCHMÖLE, P. Back to the Future: Ideas for New Blast furnace concepts (future of the blast furnace process - visions to reduce CO₂ emissions). ThyssenKrupp Stahl, Germany. Mo1 – 1st Plenary Session. 2004.

MASUDA, Hiroshi. Carvão e Coque aplicados à metalurgia. Associação Brasileira de metais, v. 1, 1980.

MINISTÉRIO da Ciência e Tecnologia – MCT – Disponível em:
<www.mct.gov.br/clima> Acesso em: março de 2008.

MINISTÉRIO do Meio Ambiente – MMA - Disponível em: <www.mma.gov.br>
Acesso em: dezembro de 2007.

MINISTÉRIO de Minas e Energia – MME. Balanço Energético Nacional (BEN) 2007, ano base 2006. Disponível em: <www.mme.gov.br> Acesso em: março de 2008

MINISTÉRIO de Minas e Energia – MME. Resenha Energética Brasileira, exercício de 2007. Disponível em: <www.mme.gov.br> Acesso em: março de 2008.

MINISTÉRIO de Minas e Energia – MME. Anuário Estatístico: Setor Metalúrgico. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2007.

MINISTÉRIO dos Transportes - Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/>>
Acesso em: abril de 2008.

PAIVA, Maria Cristina Silva de. Análise financeira do carvão vegetal e do coque na siderurgia mineira, no período de 1995 a 1999. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Minas Gerais, 2001.

PLANTAR. Metodologia de Carbonização e Florestal da Plantar. Disponível em:
<<http://cdm.unfccc.int/index.html>> Acesso em: outubro de 2007.

POINT Carbon - Disponível em: <http://www.pointcarbon.com>. Acesso em: abril de 2008.

PROTOTYPE Carbon Fund – PCF - Disponível em: www.prototypecarbonfund.org. Acesso em: novembro de 2007.

REVISTA VEJA – Revista – Especial Infra-Estrutura – Essa guerra tem de ser vencida. Editora Abril, 8 de agosto de 2007.

SCARPINELLA, Gustavo D’Almeida. Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto. Dissertação de mestrado. USP, Instituto de eletrotécnica e energia. São Paulo, 2002.

SINDICATO das Indústrias de Ferro Gusa - SINDIFER - Disponível em: www.sindifer.com.br . Acesso em: janeiro de 2008.

SINDIPEÇAS. Estudo da frota circulante brasileira realizado pelo Subgrupo de Reposição-Frota em Março de 2006. Disponível em: <http://www.sindipecas.org.br>. Acesso em: dezembro 2007.

SKYNET. Disponível em: http://users.skynet.be/mariela.tadla/carbonizacion/es/carb_es3.html . Acesso em: julho 2008

SOCIEDADE de Investigações florestais – SIF. Jornal SIF: Edição Especial. UFV. Disponível em: www.sif.org.br. Acesso em: fevereiro de 2008.

TEIXEIRA, Aníbal. Eucalipto Excomungado. Estado de Minas, Opinião, 14 de julho de 2007.

UNITED Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC - Disponível em: <http://unfccc.int/2860.php>. Acesso em: janeiro de 2008.

USIMINAS - Disponível em: <http://www.usiminas.com.br> . Acesso em: março 2008.

VMTUBES - Disponível em: <http://www.vmtubes.com.br>. Acesso em: março de 2008.

Entrevistas Realizadas:

Cristiana OLIVEIRA. Assistente da Gerência de Projetos de Carbono. Plantar Reflorestamentos. www.plantar.com.br (2007).

Elesier Lima GONCALVES. Diretor da ArcelorMittal Florestas. <<http://www.arcelormittal.com/br/>> (2008).

Sérgio W. Garcia SCHERER. Engenheiro Mecânico e Metalurgista e Sócio da Empresa MINITEC. <www.minitecnologias.com.br> (2007, 2008).

Apêndice A

Cálculo da área necessário de floresta de eucalipto para produção de 100% de ferro-gusa

Cálculo a área necessária para Minas Gerais

16.052.000 t
3 mdc/t
48.156.000 mdc
2 st/mdc
96.312.000 st/mdc
50 st/ha/ano
1.926.240 ha.
1,67
3.216.821 ha.
32.168 km²
590.000 km²
5,45%

Fonte: Scherer, 2007

Cálculo a área necessária para Minas Gerais

16.052.000 t
2,80 mdc/t
44.945.600 mdc
1,80 st/mdc
80.902.080 st/mdc
60 st/ha/ano
1.348.368 ha.
1,67 fator
2.251.775 ha.
22.518 km²
590.000 km²
3,82%

Fonte: SINDIFER, 2008

Cálculo a área necessária para Brasil

35.571.000 t
3,00 mdc/t
106.713.000 mdc
2,00 st/mdc
213.426.000 st/mdc
50 st/ha/ano
4.268.520 ha.
1,67 fator
7.128.428 ha.
71.284 km²
8.459.420 km²
0,84%

Fonte: IBS, 2008

Fonte: FAO, 2007

Apêndice B

Comparativo do preço carvão vegetal *versus* coque

Carvão Vegetal			
Densidade	0,18 t/m3	0,35 t/m3	Fonte: AMS, Anuário Estatístico 2007 e preliminar de 2008
	2006	2006	
Preço Médio MG	522 R\$/t	269 R\$/t	
Preço Médio ES, RJ, Ba	489 R\$/t	251 R\$/t	
	2007	2007	
Preço Médio MG	603 R\$/t	310 R\$/t	
Preço Médio ES, RJ, BA	556 R\$/t	286 R\$/t	
Coque			
	2006	Fonte	
Preço médio	155 US\$/t	Matérias Primas Conjuntura da Usiminas	
Preço máximo	187 US\$/t	de Fevereiro de 2008	
	2007	Preço do coque chinês com 12,5%	
Preço médio	222 US\$/t	de teor de cinzas. Valores FOB	
Preço máximo	400 US\$/t		
	2008		
Preço médio (JAN/FEV/MAR)	488 US\$/t		
Preço máximo	520 US\$/t		
P _{cv} /(P _{cq} .T _c) < 0,7384			
Taxa de Câmbio - 2006	2,18 R\$/US\$	Fonte: AMS, 2007	
Taxa de Câmbio - 2007	1,98 R\$/US\$	Fonte: AMS, 2008	
Taxa de Câmbio - 2008	1,65 R\$/US\$		
Caso 1	1,5461 Valor MG, 2006 e densidade 0,18 t/m3		
Caso 2	1,4474 Valor ES, RJ, BA, 2006 e densidade 0,18 t/m3		
Caso 3	0,7951 Valor MG, 2006 e densidade 0,35 t/m3		
Caso 4	0,7444 Valor ES, RJ, BA, 2006 e densidade 0,35 t/m3		
Caso 5	1,3726 Valor MG, 2007 e densidade 0,18 t/m3		
Caso 6	1,2651 Valor ES, RJ, BA, 2007 e densidade 0,18 t/m3		
Caso 7	0,7059 Valor MG, 2007 e densidade 0,35 t/m3		
Caso 8	0,6506 Valor ES, RJ, BA, 2007 e densidade 0,35 t/m3		
Caso 9	1,2824 Valor Máximo de CV e Máximo Coque 2006		
Caso 10	0,7611 Valor Máximo de CV e Máximo Coque 2007		
Caso 11	0,7025 Valor Máximo de CV 2007 e Máximo Coque 2008		

ANEXO A

Cálculo do tamanho da Amostra pelo critério de Neyman

The project adopts the recommendation of the methodology and adopts a permissible error of $\pm 10\%$ of the mean, at the 95% confidence level. The sample size is estimated as per the Neyman criterion of fixed levels of costs and accuracy. The number of plots in each stratum/sub-stratum can be calculated using the following equation.

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2}}{A} \right)^2 \left(\sum_{i=1}^{N_T} W_i s_i \sqrt{C_i} \right) \left(\sum_{i=1}^{N_T} W_i s_i / \sum C_i \right)$$

Where,

n = Sample size (number of sample plots required for monitoring)

$t_{\alpha/2}$ = Value of the statistic t Student, for $\alpha = 0.05$ (implying a 95% confidence level)

N_T = Total number of strata defined

N_i = Number of potential sample units (permanent sample plots) in stratum i

N = Total number of potential sample units (permanent sample plots)

s_i = Standard deviation in stratum m

A = Permissible error in the mean

C_m = Cost of selecting a sample plot in stratum m

$W_i = N_i / N_T$

The number of plots shall be allocated among the strata as per Equation 2.2:

$$n_h = n \cdot p_i \text{ and } p_i = \left(W_i s_i / \sqrt{C_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^{N_T} W_i s_i / \sqrt{C_i} \right)$$

Where n_i is the number of samples to be allocated in stratum m .

Fonte: Plantar, 2007.