UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Flávia de Castro Camioto

**CONSUMO ENERGÉTICO NOS SETORES INDUSTRIAIS
BRASILEIROS - UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E
ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂**

São Carlos
2013

Flávia de Castro Camioto

**CONSUMO ENERGÉTICO NOS SETORES INDUSTRIAIS
BRASILEIROS - UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E
ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO₂**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Doutor em Engenharia de
Produção.

Área de concentração: Economia,
Organizações e Gestão do Conhecimento

Orientadora: Prof^a. Assoc^a. Daisy A. do N.
Rebelatto

São Carlos
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C183c Camioto, Flávia de Castro
CONSUMO ENERGÉTICO NOS SETORES INDUSTRIAIS
BRASILEIROS - UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E ESTRATÉGIAS
PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO2 / Flávia de Castro
Camioto; orientador Daisy Aparecida do Nascimento
Rebelatto. São Carlos, 2013.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Área de Concentração em
Economia, Organizações e Gestão Conhecimento -- Escola
de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2013.

1. Matriz Energética. 2. Gases do Efeito Estufa
(GEE). 3. Setores Industriais. 4. DEA. 5. Método
Top-Down. 6. Políticas Públicas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **FLÁVIA DE CASTRO CAMIOTO.**

Título da tese: " Consumo energético nos setores industriais brasileiros - uma avaliação de desempenho e estratégias para a redução da emissão de CO2".

Data da defesa: 04/10/2013

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profª. Assoc. **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Titular **Paulo Seleglim Júnior**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Profª. Drª. **Ana Elisa Périgo**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Araraquara)

APROVADA

Prof. Dr. **Charbel José Chiapetta Jabbour**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Bauru)

Aprovada

Prof. Dr. **Hildo Meirelles de Souza Filho**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Prof. Titular **Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

AGRADECIMENTOS

À Professora Daisy Rebelatto, pela orientação sempre presente, pela paciência, pela confiança depositada em mim e por me ajudar a superar as dificuldades encontradas no caminho.

Aos meus pais Ademir Camioto e Climene Gil Rodrigues de Castro Camioto pelo amor, confiança e dedicação que sempre tiveram por mim.

À minha irmã, Paula de Castro Camioto, pelo amor, amizade e por todos os momentos que passamos juntas.

Aos amigos de Laboratório, em especial ao Enzo Barberio Mariano, Naja Brandão Santana, Herick Fernando Moralles, Flávio Leonel de Carvalho, Diego Fogaça, Carolin Debertin e Fausto Rodrigues pela atenção e incentivo, pelas contribuições e, também, pela amizade e carinho.

A todos os meus amigos, que sempre torceram por mim, pela força, companhia e momentos de alegria.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia de Produção, pela atenção e carinho durante o curso de doutorado.

Aos meus tios e primos, pela torcida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de doutorado.

Aos docentes e funcionários da Escola de Engenharia de São Carlos, pela atenção e apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa.

À Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

CAMIOTO, F. C. (2013). Consumo energético nos setores industriais brasileiros - Uma avaliação de desempenho e estratégias para a redução da emissão de CO₂. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

Em um período de mudanças climáticas e restrições a emissões cada vez maiores, é importante focar o desenvolvimento das nações na direção de uma economia de baixo carbono. O elevado consumo de combustíveis fósseis gera danos que atingem escalas globais, regionais e locais e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. O presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho dos principais setores industriais brasileiros considerando seus respectivos consumos energéticos e contribuições para aspectos sociais e econômicos do país. Além disso, busca-se mensurar os benefícios ambientais, no que diz respeito à emissão de CO₂, resultante da alteração de energéticos nos setores industriais de menor desempenho e discutir políticas públicas que visam estimular a utilização de fontes de energia mais limpas. Para atingir o objetivo proposto, foi realizada a análise e quantificação da potencial contribuição ambiental que a alteração da matriz energética dos setores com menor desempenho em relação à sua contribuição para o desenvolvimento sustentável, pode fornecer. Para determinar o desempenho dos setores foi utilizada a Análise Envoltória de Dados (DEA). Os resultados deste estudo indicaram que o setor metalúrgico e o setor de não metálicos são os que possuem o menor desempenho, considerando as variáveis selecionadas. Já para medir as emissões de CO₂ dos principais combustíveis utilizados nos setores de menor desempenho foi utilizado o método *Top-Down* proposto pelo IPCC. A análise indicou que, apesar do carvão vegetal ser o segundo emissor de CO₂, ele pode contribuir para a redução do aquecimento global, desde que seja proveniente de mata de reflorestamento destinada para a atividade industrial. Por fim, foi realizada uma breve discussão sobre as políticas públicas voltadas a este energético.

Palavras-chave: Matriz Energética. Gases do Efeito Estufa (GEE). Setores Industriais. DEA. Sustentabilidade. Método *Top Down*. Políticas Públicas.

ABSTRACT

CAMIOTO, F. C. (2013). Energy consumption in the industrial sectors in Brazil - An evaluation of performance and strategies to reduce CO₂ emissions. Thesis. (PhD) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2013.

In a period of climate change and of an increasingly restriction of emissions, it is pivotal to focus on a development by countries towards an economy revolved on low carbon dioxide levels. The high consumption of fossil fuels results in damages on a global, regional and local level threatening long-term supply in our planet. This work has as its objective to analyze the performance of the main Brazilian industrial sectors considering their energy consumption and contributions to social and economic aspects of the country. In addition, will be measure the environmental benefits, in terms of CO₂ emissions, resulting from fuel substitution in the industrial sectors of lower performance and discuss public policies aimed at stimulating the use of cleaner energy sources. So as to achieve this objective, an analysis and measurement assertion of the potential environmental contribution that a change of the energy matrix, of the sectors with lower performance as regards to its contribution to sustainable development of the country, may provide was performed. Data Envelopment Analysis (DEA) was used to determine the efficiency of the sectors. The results of this study indicated that the metallurgical and nonmetallic sectors are the ones that have the lowest performance industrial in terms of sustainable. For the measurement of CO₂ emissions for each major fuel used in the sectors with lower performance, the Top-Down method proposed by the IPCC was used. This analysis indicated that, although charcoal is the second fuel in sectors that emit more CO₂, it can contribute to the reduction of global warming since it comes from forest reforestation destined for the activity industrial. Finally, a brief discussion about public policies on this fuel was held.

Keywords: Energy Matrix. Greenhouse Gas (GHG). Industrial Sectors. DEA. Sustainability. Top Down Method. Public Policies.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO RUMO A MODELOS SUSTENTÁVEIS.....	34
FIGURA 2 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DO CICLO DO CARBONO.....	40
FIGURA 3 - SISTEMA DE CÉLULA COMBUSTÍVEL COM CÉLULA DE CAPTURA DE CO ₂ PÓS- COMBUSTÃO.	50
FIGURA 4– SISTEMA DE CÉLULA COMBUSTÍVEL COM CÉLULA DE CAPTURA DE CO ₂ PRÉ- COMBUSTÃO.	51
FIGURA 5 - PRINCÍPIO DO CICLO COMBINADO DE TURBINA A GÁS DE OXI-COMBUSTÍVEL.....	52
FIGURA 6 – CONSUMO PER CAPITA DE ENERGIA PRIMÁRIA EM 2009 (TEP).....	84
FIGURA 7 – ÍNDICES DE INTENSIDADE ENERGÉTICA DA INDÚSTRIA.....	100
FIGURA 8 - INTER-RELAÇÕES ENTRE AS ETAPAS DE TRABALHO	125
FIGURA 9 – RESUMO DA ETAPA ANÁLISE DE DESEMPENHO	148

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RAZÃO ENTRE EMISSÕES GERADAS E ENERGIA CONSUMIDA - SÉRIE HISTÓRICA - BRASIL	42
GRÁFICO 2 – RELAÇÃO ENTRE IDH E CONSUMO DE ENERGIA PER CAPITA	83
GRÁFICO 3 – EMISSÕES DE CO ₂ NO ANO DE 2011, EM MtCO ₂	93
GRÁFICO 4 – CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR SETOR (%).....	94
GRÁFICO 5 – PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO DA AMÉRICA LATINA EM JAN./2012 (10 ³ T)	151
GRÁFICO 6 - CONSUMO ENERGÉTICO DO SETOR FERRO-GUSA E AÇO EM 2011	153
GRÁFICO 7 - EMISSÕES DE CO ₂ POR COMBUSTÍVEL NO SETOR DE FERRO-GUSA E AÇO (%)	155
GRÁFICO 8 - EMISSÕES DE CO ₂ SUPONDO O CONSUMO DE APENAS UM COMBUSTÍVEL (EM 10 ⁶ T DE CO ₂)	158
GRÁFICO 9 - EMISSÕES TOTAIS DE CO ₂ SUPONDO SUBSTITUIÇÃO DE DOIS COMBUSTÍVEIS SÓLIDOS (EM 10 ⁶ T DE CO ₂)	160
GRÁFICO 10 - CONSUMO ENERGÉTICO DO SETOR DE CIMENTO EM 2011	166
GRÁFICO 11 - EMISSÕES DE CO ₂ POR COMBUSTÍVEL NO SETOR DE CIMENTO (%)	168
GRÁFICO 12 - EMISSÕES DE CO ₂ SUPONDO O CONSUMO DE APENAS UM COMBUSTÍVEL (EM 10 ⁶ T DE CO ₂)	171
GRÁFICO 13 - EMISSÕES TOTAIS DE CO ₂ SUPONDO SUBSTITUIÇÃO DO COQUE DE PETRÓLEO (EM 10 ⁶ T DE CO ₂)	172

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DECLARAÇÃO DE PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	33
QUADRO 2 – <i>RANKING</i> DOS SETORES, DE ACORDO COM A FOLGA RELATIVA, PARA CADA VARIÁVEL.	140

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – OFERTA INTERNA DE ENERGIA (%)	42
TABELA 2 – CONSUMO FINAL ENERGÉTICO POR FONTE (10^3 TEP)	47
TABELA 3 – CONSUMO DE ENERGIA (KG DE PETRÓLEO EQUIVALENTE POR PESSOA)	82
TABELA 4 – CONSUMO FINAL POR SETOR (10^3 TEP)	86
TABELA 5 - BRASIL: EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE NA PRODUÇÃO E USO DE ENERGIA	94
TABELA 6 – MATRIZ DE CONSUMO FINAL DE ENERGIA, POR SETOR (% E TEP)	102
TABELA 7 – MATRIZ DE CONSUMO INDUSTRIAL DE ENERGIA, POR FONTE (% E TEP)	102
TABELA 8 – ESTRUTURA DE CONSUMO DO SETOR INDUSTRIAL (%)	103
TABELA 9 – CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DAS VARIÁVEIS DO MODELO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	110
TABELA 10 - FATORES DE EMISSÃO DE CARBONO EMPREGADOS.....	117
TABELA 11 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO	128
TABELA 12 – <i>RANKING</i> DE DESEMPENHO DOS SETORES INDUSTRIAIS	130
TABELA 13 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR METALÚRGICO.....	131
TABELA 14 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR NÃO METÁLICOS	132
TABELA 15 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR DE PAPEL E CELULOSE	133
TABELA 16 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR EXTRATIVO MINERAL.....	134
TABELA 17 – CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS ENTRE 2005 E 2006.....	134
TABELA 18 - CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS ENTRE 2009 E 2010	136
TABELA 19 – ANÁLISE POR JANELA – INDÚSTRIAS QUÍMICAS.....	137
TABELA 20 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS	138
TABELA 21 - ANÁLISE POR JANELA – SETOR TÊXTIL.....	139
TABELA 22 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR METALÚRGICO.....	141
TABELA 23 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR NÃO METÁLICOS	141
TABELA 24 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR DE PAPEL E CELULOSE	142
TABELA 25 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR EXTRATIVO MINERAL	143
TABELA 26 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR QUÍMICO	144
TABELA 27 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS	144
TABELA 28 – <i>RANKING</i> DAS FOLGAS PARA O SETOR TÊXTIL	145
TABELA 29 – MATRIZ DE <i>RANKING</i> DAS VARIÁVEIS, DE ACORDO COM A FOLGA RELATIVA, PARA CADA SETOR INDUSTRIAL.....	146
TABELA 30 – DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DA PRODUÇÃO (10^3 T).....	151
TABELA 31 - ESTRUTURA DE CONSUMO DO SETOR INDUSTRIAL - FERRO-GUSA E AÇO EM 10^3 TEP	153

TABELA 32 - ETAPAS 1, 2 E 3 DO MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	154
TABELA 33 - ETAPAS 4 E 5 E 6 DO MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	155
TABELA 34 - EMISSÕES DE CO ₂ CONSIDERANDO CONSUMO TOTAL DO SETOR POR APENAS UM COMBUSTÍVEL.....	157
TABELA 35 - ESTRUTURA DE CONSUMO DO SETOR INDUSTRIAL - CIMENTO EM 10 ³ TEP	162
TABELA 36 - ETAPAS 1, 2 E 3 DO MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	167
TABELA 37 - ETAPAS 4 E 5 E 6 DO MÉTODO DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	167
TABELA 38 - EMISSÕES DE CO ₂ CONSIDERANDO CONSUMO TOTAL DO SETOR POR APENAS UM COMBUSTÍVEL.....	170
TABELA 39 – SIMULAÇÕES DAS VARIÁVEIS DE <i>INPUT</i>	216
TABELA 40- SIMULAÇÕES DAS VARIÁVEIS DE <i>OUTPUT</i>	218
TABELA 41 – ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS RELATIVAS DA VARIÁVEL ENERGIA	219
TABELA 42 – ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS ABSOLUTAS DA VARIÁVEL ENERGIA	222
TABELA 43 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS RELATIVAS DA VARIÁVEL EMISSÃO DE CO ₂ POR FONTES FÓSSEIS DE ENERGIA	226
TABELA 44 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS ABSOLUTAS DA VARIÁVEL EMISSÃO DE CO ₂ POR FONTES FÓSSEIS DE ENERGIA	229
TABELA 45 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS RELATIVAS DA VARIÁVEL PIB SETORIAL.....	232
TABELA 46 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS ABSOLUTAS DA VARIÁVEL PIB SETORIAL.....	235
TABELA 47 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS RELATIVAS DA VARIÁVEL NÚMERO DE PESSOAS OCUPADAS POR SETOR	238
TABELA 48 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS ABSOLUTAS DA VARIÁVEL NÚMERO DE PESSOAS OCUPADAS POR SETOR	241
TABELA 49 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS RELATIVAS DA VARIÁVEL GASTOS COM PESSOAL	244
TABELA 50 - ANÁLISE DE JANELA PARA AS FOLGAS ABSOLUTAS DA VARIÁVEL GASTOS COM PESSOAL	247

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CNI – Confederação Nacional das Indústrias
CONPET – Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo
CONSERVE – Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial
DEA – *Data Envelopment Analysis*
DMU - *Decision Making Units*
EGTD – Energia Garantida por Tempo Determinado
EAI – Energy Information Administration
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
GEE – Gases do Efeito Estufa
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME – Ministério de Minas e Energia
OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU – Organização das Nações Unidas
PCI – Poder Calorífico Inferior
PCS – Poder Calorífico Superior
PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PPT – Programa Prioritário de Termoelectricidade
PROÁLCOOL – Programa Brasileiro de Álcool
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PROINFA – Programa de Incentivo a Fontes Renováveis de Eletricidade
PNMC – Plano Nacional sobre Mudança do Clima
SIN – Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	17
1.1 - OBJETIVO.....	25
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	26
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 - GESTÃO SUSTENTÁVEL DA PRODUÇÃO.....	29
2.2 - CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO	39
2.2.1 - <i>Fontes Renováveis de Energia</i>	56
Energia eólica	63
Energia solar	65
Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	68
Biomassa.....	69
2.2.2 - <i>Expansão da Energia Nuclear</i>	78
2.2.3 - <i>Intensificação da Eficiência Energética</i>	81
2.2.4 - <i>Setores no contexto de energia</i>	92
Setor de Transportes no contexto de Energia.....	95
Setor Industrial no contexto de Energia	99
CAPÍTULO 3 - MÉTODO DA PESQUISA	109
3.1 - O MÉTODO <i>TOP-DOWN</i> DE QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	113
3.1.1 - <i>Determinação do Consumo Aparente de Combustível</i>	115
3.1.2 - <i>Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum</i>	115
3.1.3 - <i>Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível</i>	116
3.1.4 - <i>Determinação da Fração de Carbono Estocado ou Fixado</i>	117
3.1.5 - <i>Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível</i>	118
3.1.6 - <i>Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂</i>	119
3.2 - ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS	119
Análise de Janela.....	123
3.3 - FASES DO TRABALHO	125
CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	127
4.1 - ANÁLISE DOS <i>INPUTS</i> E <i>OUTPUTS</i>	127
4.2 - ANÁLISE DE DESEMPENHO	129
4.3 - SETOR DE FERRO GUSA E AÇO	148
4.3.1 - <i>Caracterização do setor de Ferro Gusa e Aço</i>	148
4.3.2 - <i>Inventários de Emissão do Setor de Ferro Gusa e Aço</i>	152
Uso de um combustível para suprir toda a demanda energética	156
Substituição de dois dos três combustíveis mais utilizados	159
4.4 - SETOR DE CIMENTO	161
4.4.1 - <i>Caracterização do setor de Cimento</i>	161
4.4.2 - <i>Inventários de Emissão do Setor de Cimento</i>	166
Uso de um combustível para suprir toda a demanda energética	169
Substituição do coque de petróleo por outros combustíveis	172
4.5 - POLÍTICAS RELACIONADAS À UTILIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL NOS SETORES DE CIMENTO E FERRO GUSA A AÇO	174

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	181
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	191
APÊNDICE A – TESTES PARA A UTILIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS NA DEA	215
APÊNDICE B – ANÁLISE DE JANELA DAS FOLGAS DA ANÁLISE DE DESEMPENHO	219

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

Devido aos problemas gerados pela exploração dos recursos naturais, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou na década de 80 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), que ficou conhecida como Comissão *Brundtland*. Para estarem de acordo com os preceitos estabelecidos por esta comissão, as empresas devem gerar desenvolvimento que satisfaça as necessidades da geração presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas necessidades. A comissão critica o risco do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas, apontando a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes (BRAGA, 2007).

Estudos mais recentes, como de Virtanen, Tuomaala e Pentti (2013), que analisaram as complexidades envolvidas na medição e gestão da eficiência energética, corroboram com as afirmativas da comissão ao considerarem que um pré-requisito para a sobrevivência em longo prazo dos indivíduos e das organizações é uma sociedade que seja economicamente, ambientalmente e socialmente mais sustentável.

No que diz respeito aos sistemas produtivos, Glavic e Lukman (2007) apresentam o conceito de produção sustentável como sendo a criação de bens através de processos e sistemas que são não poluentes, que conservam energia e recursos naturais de forma economicamente viável, segura e saudável para os funcionários, comunidades e consumidores e que são socialmente e criativamente gratificantes para todas as partes interessadas no curto e longo prazo.

No entanto, anualmente, cresce a necessidade de energia para sustentar o desenvolvimento dos países e suas respectivas atividades industriais. Paralelamente, aumenta a concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), na atmosfera, intensificando o efeito estufa natural e o aquecimento decorrente deste.

Dentre as consequências da intensificação do efeito estufa e do aquecimento global estão: elevação do nível dos oceanos, perda da biodiversidade, intensificação do processo de desertificação e de acesso à água potável, entre outros.

Atualmente, a mudança climática está sendo estudada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que busca fornecer ao mundo uma visão científica sobre o estado atual da mudança do clima e das potenciais consequências ambientais e socioeconômicas. O IPCC, estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, também é responsável por elaborar métodos de quantificação de emissões de GEE.

Os resultados apresentados no relatório do IPCC (2007) confirmam que a causa do aquecimento global são atribuídas, em grande parte, às atividades humanas, principalmente, àquelas relacionadas à emissão de dióxido de carbono. De acordo com esse relatório, o CO₂ representou cerca de 80% do total de emissões antrópicas de Gases do Efeito Estufa (GEE) em 2004, sendo que, entre 1970 e 2004, houve um aumento nas emissões deste gás de cerca de 80%.

O setor energético foi o que apresentou o maior crescimento nas emissões de GEE neste mesmo período, com um aumento de 145%, seguido do setor de transportes (120%), da indústria (65%) e do uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (40%) (IPCC, 2007).

De acordo com Luncon e Goldemberg (2007), os padrões atuais de produção e consumo de energia, no mundo, são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta, por ser uma fonte não renovável. De acordo com o IPCC (2007), as queimas de combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de 90% das emissões antropogênicas de CO₂ produzidas anualmente.

Portanto, o consumo de energias fósseis é a principal causa da intensificação do efeito estufa. Silva e Guerra (2009), no entanto, explicam que o uso deste combustível tem movido a economia mundial desde a Revolução Industrial, sendo, a energia, um dos componentes essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma nação e o seu suprimento é um pré-requisito fundamental às atividades humanas.

Deste modo, as implicações ambientais da produção e do uso dos recursos energéticos têm-se apresentado como um grande desafio aos países desenvolvidos e em desenvolvimento, uma vez que a produção, distribuição, transformação e consumo de energia devem ser orientados de modo a garantir o desenvolvimento, sem ampliar os efeitos negativos

à sociedade e ao meio ambiente. Alguns autores, como Lior (2010), enfatizam que é preciso um sistema político para suportar, de forma rápida e efetiva, movimentos em direção à energia sustentável.

Segundo Goldemberg e Moreira, (2005), a presença do Governo é essencial para: 1) atender a demanda da sociedade por mais e melhores serviços de energia; 2) estimular a participação de fontes energéticas sustentáveis e duradouras; 3) priorizar o uso eficiente da energia para liberar capital aos setores mais produtivos da economia e preservar o meio ambiente; 4) utilizar o investimento em energia como fonte de geração de empregos e de estímulo à indústria nacional; 5) incorporar à matriz energética insumos importados quando isso resultar em vantagens comerciais e sociais ao país, inclusive através da abertura de exportação de produtos e serviços e, 6) produzir energia de diversas fontes, reduzindo o risco da eventual escassez de algumas delas de forma compatível com as reservas disponíveis no país.

Considerando este contexto, em 1992, foi realizada a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. A Convenção reconhece que a maior parcela das emissões de GEE é originária dos países desenvolvidos e que as emissões per capita dos países em desenvolvimento ainda são relativamente baixas. No entanto, ela reconhece, ainda, que a parcela de emissões originárias desses países crescerá para que eles possam satisfazer suas necessidades sociais e de desenvolvimento. O artigo 4.1 dessa Convenção estabeleceu obrigações comuns a todas as Partes da Convenção, levando em conta as responsabilidades comuns, mas diferenciadas, dos países e suas prioridades de desenvolvimento nacional e regional, objetivos e circunstâncias. Entre as obrigações das Partes para com a Convenção está a formulação e implementação de programas nacionais e, conforme o caso, regionais, que incluam medidas para mitigar a mudança global do clima (ONU, 2010). Este compromisso é em termos gerais e não está relacionado a nenhum objetivo específico para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Apesar do Brasil não ser uma das Partes da Convenção, e como tal não ter compromissos obrigatórios para com ela, tem implementado uma série de medidas no setor energético ao longo do tempo, que resultou em menores emissões de CO₂.

Políticas e programas governamentais brasileiros têm sido alvo de estudos que demonstram a preocupação de pesquisadores com a continuação ou, mesmo, intensificação destas iniciativas. Prado, Oliveira e Camargo (2008), por exemplo, avaliaram a eficiência da segunda fase do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), no

que diz respeito a cenários de longo prazo (2009-2030) e identificação de lacunas e barreiras, propondo opções de política para enfrentá-las.

Da mesma forma, o trabalho de Dutra e Szklo (2008) analisou, a partir da simulação de diferentes cenários para as licitações, as possibilidades do PROINFA alcançar a sua meta para a segunda fase (10% do consumo anual de eletricidade fornecida por fontes alternativas até 2020) sem ultrapassar o limite das licitações, que devem limitar o seu impacto sobre a tarifa de eletricidade final. Eles concluíram que, para tal meta ser atingida, deve-se promover geração de energia de biomassa sozinha, durante a segunda fase do Programa. No entanto, essa ação contraria um dos objetivos do Programa, que é diversificar a matriz energética. Uma alternativa poderia ser licitações para as energias renováveis de acordo com critérios específicos, baseadas não apenas em rentabilidade.

Já Szklo *et al.* (2005), estudaram programas e medidas em curso no país, nos setores de suprimento e demanda de energia, que têm implicado na redução da emissão de CO₂. De acordo com este autor, sem destacar os benefícios dessas medidas, a continuação ou intensificação destes programas pode ser prejudicada.

Zhang *et al.* (2011), por sua vez, analisaram e avaliaram quantitativamente a evolução das políticas dos BRICs, voltadas para energias renováveis, concluindo que, no Brasil e na China, a longo prazo, estas políticas tem efeito positivo sobre o consumo e a produção de fontes renováveis de energia, melhorando a taxa destas duas variáveis de crescimento.

Do mesmo modo, Paz, Silva e Rosa (2007), discutiram os conceitos de sustentabilidade e ética pela análise da política energética brasileira e suas implicações sociais e ambientais. Estes autores concluíram que o padrão de priorização do crescimento econômico sobre a igualdade deve ser reavaliado. O atual modelo de desenvolvimento econômico vem provando que não é capaz de atender toda a sociedade com os seus benefícios. O setor elétrico brasileiro foi desenvolvido com esforços diretos e indiretos de toda a sociedade. Em contrapartida, os benefícios advindos desse setor são discriminados. Estes autores afirmam, ainda, que é imprescindível que a dinâmica das atividades econômicas para suprir as necessidades humanas pondere os fatores naturais limitantes, como condições para a produção, transformação, distribuição e consumo de energia.

Em 2007, diante da discussão brasileira de como garantir o suprimento de gás e eletricidade no médio e longo prazo, Luncon e Goldemberg (2007), além de comentarem a importância de ampliar a gestão governamental no setor de energia, considerando aspectos de segurança no fornecimento, criação de empregos e de sustentabilidade ambiental, enfatizaram

os programas de eficiência energética e o impacto que a definição do perfil industrial brasileiro tem na quantidade e no tipo de energia final que o país deverá produzir.

Apesar do estudo de Simões e La Rovere (2008), que analisou o Brasil do ponto de vista da oferta de energia renovável, concluir que a matriz energética do país é, particularmente, limpa, com uma oferta interna de energia renovável de 44,1%, em 2011 (BEN, 2012), o setor industrial ainda possui muitas das suas atividades dependentes de combustíveis fósseis. Como consequência, esse setor acaba agredindo o meio ambiente por emitir altíssimas concentrações de gases do efeito estufa (GEE), aumentando o aquecimento global, além de contribuir para a extensa extração de combustíveis na forma de petróleo e carvão. Uma das principais alternativas para que se inverta esse quadro é a substituição de fontes de energias fósseis, por combustíveis de caráter renovável.

Neste sentido, Freitas e Kaneko (2011) afirmam que a atividade econômica, juntamente com a pressão demográfica, são as principais forças que explicam o aumento das emissões, no Brasil. Por outro lado, a redução da intensidade de carbono e a diversificação da matriz energética para fontes mais limpas são os principais fatores que contribuem para mitigação de emissões.

Dessa maneira, a utilização de energias mais limpas pode ser considerada como estratégica ao desenvolvimento da sociedade, por garantir a perenidade dos recursos naturais e por causar menos impactos ao meio ambiente. A substituição da matriz energética torna-se, neste caso, importante para o direcionamento de recursos públicos, na busca do desenvolvimento sustentável.

Além disso, de acordo com Kolk e Pinkse (2004), a busca por fontes alternativas de energia se enquadra como uma das estratégias que as empresas podem adotar ao optar por realizar melhorias em processo ante ao desafio das mudanças climáticas. Estas, por sua vez, têm atraído, cada vez mais, a atenção das organizações nas últimas décadas. Esses autores indicam que as empresas enfrentam um crescimento gradual de desafios, atrelado, necessariamente, ao grau de adoção de combustíveis fósseis em seus produtos e processos produtivos.

No entanto, é importante considerar que todas as formas de geração de energia provocam interferências no meio ambiente. Algumas são mais impactantes e outras menos. Porém, devido aos grandes impactos ambientais causados pelas fontes fósseis de energia, além da perspectiva de esgotamento, em médio prazo, das reservas existentes, o recente processo de reestruturação do setor elétrico tem estimulado a geração descentralizada de

energia elétrica, de modo que as fontes não convencionais ocupem mais espaço na matriz energética brasileira.

Considerando que o setor industrial pode contribuir de forma significativa no desafio ante as mudanças climáticas, vários estudos que analisam aspectos ambientais e econômicos na indústria têm sido desenvolvidos (OGGIONI *et al.*, 2011; SCHENEIDER *et al.*, 2011; TOMASULA AND NUTTER, 2011; WERNET *et al.*, 2011; HAMZAH *et al.*, 2010; BERNI *et al.*, 2008; NARODOSLAWSKY *et al.*, 2008, etc.). Vale comentar, no entanto, que a maioria desses estudos foca um setor industrial, processo ou produto específico.

Apesar de alguns poucos trabalhos, como o de Zhang et al (2008), que realiza uma análise de eco eficiência para sistemas industriais regionais na China, por meio da análise envoltória de dados (DEA); e o de Luken e Castellanos-Silveria (2011), que compararam as mudanças em variáveis econômicas, ambientais e sociais que ocorreram na indústria de transformação, em grupos de países em desenvolvimento, entre os anos de 1990 e 2004; ainda há amplas oportunidades para estudos contemplando os diversos setores industriais e seu, respectivo, consumo energético, considerando a sua contribuição para promover o desenvolvimento econômico com melhorias sociais e respeito ambiental.

Vale ressaltar que esforços para reduzir emissões de GEE em países desenvolvidos, bem como no Brasil, já mostraram que podem originar ganhos financeiros, e não perdas. Redução das emissões exige a eliminação de desperdícios e o desenvolvimento de novas tecnologias de produção e fontes alternativas de energia (SIMÕES; LA ROVERE, 2008).

Também, deve ser salientado que a redução de emissões de GEE tem uma importante e fundamental força propulsora no mercado internacional de créditos de carbono, no qual o Brasil participa por meio de projetos ligados ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Projetos ligados à menor geração de energia intensiva (no caso do Brasil, especialmente a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e eólicas) são elegíveis para inclusão no MDL (SIMÕES; LA ROVERE, 2008).

Além disso, gestores de grande porte têm dedicado atenção especial para investimentos com foco em boa governança sócio-ambiental. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), bem como fundos de pensão brasileiros, ampliaram suas aplicações em ações de empresas com boas práticas na área. Para esses agentes, investir em produtos ligados à economia verde é tendência crescente no mercado de capitais brasileiro nos próximos anos (VALOR ECONÔMICO, 2012). Da mesma forma, é

importante considerar as políticas tributárias que podem beneficiar empresas que assumem compromissos ambientais.

Além disso, Perrels (2008) aponta que em grande medida a questão do desenvolvimento sustentável é a mudança, não apenas nos sistemas de produção, mas, também, nos padrões de consumo. Assim, para se destacarem no competitivo e acirrado mercado globalizado, as empresas devem manter uma boa imagem perante consumidores cada vez mais preocupados com o meio ambiente.

Deste modo, embora a matriz energética brasileira, especialmente a matriz elétrica, seja considerada “limpa”, na medida em que a participação de renováveis é relevante, o aumento da importância relativa das emissões do setor energético justifica a preocupação e a definição do objetivo desta pesquisa, que foca nas emissões do setor industrial devido ao uso de energia.

Vale salientar que as mudanças climáticas, ainda, se apresentam como um grande desafio para o planejamento e a gestão dos setores industriais nacionais, visto que as complexas interações entre o meio ambiente e os sistemas produtivos tornam difícil a análise da realidade pelos formuladores de políticas públicas. Tal dificuldade exige indicadores mais elaborados, que contribuam para uma avaliação integrada da sustentabilidade de setores produtivos.

Dado que existe um grande debate sobre como definir um índice multidimensional de sustentabilidade, que combine aspectos econômicos, sociais e ambientais (Cracolici, 2010), e tendo como base o conceito de produção sustentável, o presente trabalho tem como principal objetivo *analisar o desempenho dos principais setores industriais brasileiros considerando seus respectivos consumos energéticos e contribuições para aspectos sociais e econômicos do país. Além disso, busca-se mensurar os benefícios ambientais, no que diz respeito à emissão de CO₂, resultantes da alteração de energéticos nos setores industriais de menor desempenho e discutir políticas públicas que visam estimular a utilização de fontes de energia mais limpas.*

Assim, o estudo visa responder às seguintes questões de pesquisa:

- Quais setores apresentam o menor desempenho com base no conceito de produção sustentável?
- Existe possibilidade de redução da emissão de CO₂ por meio da alteração da matriz energética nos setores industriais brasileiros com menor desempenho, considerando o contexto de produção sustentável?
- As políticas governamentais incentivam a redução da emissão de CO₂

por meio da alteração da matriz energética do setor industrial brasileiro?

Destaca-se que estudo semelhante, no que diz respeito à análise de setores, foi realizado por Mao et al. (2011), que construiu e analisou múltiplos índices de sustentabilidade, disponíveis na literatura, a partir dos dados de consumo de energia e emissões de GEE por subsistema e setores industriais da China. Logo, um dos grandes avanços do presente trabalho, em relação às pesquisas já existentes, está na comparação dos setores industriais por meio de um índice agregado de produção sustentável gerado a partir da ferramenta DEA.

A fim de atingir o objetivo do presente trabalho, em uma primeira etapa, será apresentado o atual e futuro cenário energético brasileiro, com destaque para as políticas públicas que estão sendo adotadas para esta área, no país. Além disso, a fundamentação teórica, também, irá contemplar a importância deste tema dentro do contexto de desenvolvimento sustentável, considerando o setor industrial e o consumo energético.

Posteriormente, o método de programação matemática chamada Análise Envoltória de Dados (DEA) foi utilizado para o cálculo do índice agregado de produção sustentável. Este método, baseado no modelo SBM e na análise de janela, permitiu analisar o desempenho dos setores industriais do Brasil, com base no conceito de produção sustentável. Por fim, serão analisadas as oportunidades de redução do gás carbônico por meio da substituição da matriz energética dos setores que apresentaram os menores desempenhos, considerando as variáveis selecionadas.

O chefe do Departamento de Mercado do BNDES, Otavio Vianna, afirma que empresas que realizam inventário de emissões de gás carbônico tendem a ser mais eficientes, em termos operacionais, em horizonte de médio e de longo prazo. Isso porque realizam inventários mais detalhados de uso de energia, para mensurar a evolução de emissões. Na prática, esta postura melhora a performance operacional da empresa, que acaba por detectar consumos desnecessários de energia - e, assim, reduz custos (VALOR ECONÔMICO, 2012).

Segundo Angele (2011), o conhecimento dos balanços energéticos e de emissão de CO₂ das empresas, além de ser de fundamental importância para reduzir os custos através de maior eficiência, contribui para reestruturar o abastecimento energético, contribuindo para o meio ambiente. Nesse sentido, este autor reforça que as diferentes fontes de energia têm papel importante nas variações de emissões de GEE. Quando a energia é derivada de combustíveis fósseis, as emissões de gases causadores do efeito estufa por m²

aumentam consideravelmente e podem ser drasticamente reduzidas por meio da substituição por fontes renováveis de energia.

Deste modo, para a análise quantitativa, que medirá as emissões de CO₂ dos principais combustíveis utilizados nos setores em estudo, será utilizado o método *Top-Down* proposto pelo IPCC. E, a partir dos dados de consumo energético dos setores, será realizada a quantificação das emissões de CO₂ supondo a mudança da matriz energética dos setores para efeito de comparação das emissões.

O método *Top-Down*, proposto pelo IPCC, é reconhecido internacionalmente e recomendado pela ONU (Organização das Nações Unidas), sendo utilizado para a elaboração do primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de GEE (MCT, 2006), além de ser empregado em pesquisas como a de Simões (2003), para elaborar a projeção das emissões de CO₂ decorrentes da atividade aérea no Brasil. Por meio destes estudos foi possível observar que o inventário gerado a partir desta ferramenta facilita a análise e compreensão dos ganhos ambientais na adoção de novas alternativas energéticas. Além disso, pode auxiliar na elaboração e condução de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

1.1 - Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é *analisar o desempenho dos principais setores industriais brasileiros considerando seus respectivos consumos energéticos e contribuições para aspectos sociais e econômicos do país. Além disso, busca-se mensurar os benefícios ambientais, no que diz respeito à emissão de CO₂, resultante da alteração de energéticos nos setores industriais de menor desempenho e discutir políticas públicas que visam estimular a utilização de fontes de energia mais limpas*. Serão produzidos conhecimentos sobre as emissões de CO₂ de fontes energéticas, quando adotadas nos processos produtivos industriais, assim como contribuir, com o governo, com informações para o estabelecimento de estratégias que visem orientar e estimular a adoção de energias adequadas, que promovam baixo impacto ao meio ambiente.

Para que este objetivo seja atendido, foram estabelecidas as seguintes metas intermediárias:

- Realizar uma revisão da literatura relativa ao tema;

- Identificar programas e medidas governamentais no setor energético;
- Analisar o desempenho dos setores industriais brasileiros, no contexto de energia e produção sustentável;
 - Selecionar os setores com menor desempenho que participarão da pesquisa.
- Quantificar a emissão de CO₂ por fonte de energia para cada setor industrial selecionado;
 - Quantificar a emissão de CO₂, a partir do método *Top-Down*, para cada setor selecionado, considerando a matriz energética atual e uma matriz hipotética formada pelos possíveis substitutos das fontes de energia mais poluentes;
- Discutir as estratégias utilizadas pelo governo no setor energético, considerando as possíveis alternativas de redução da emissão de CO₂, a partir da quantificação realizada para cada setor selecionado;
- Analisar os resultados e concluir a pesquisa.

1.2 - Organização do Texto

A estrutura e organização do texto desta tese estão definidas da seguinte maneira:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta o tema abordado nesta tese, as justificativas, os objetivos, além da organização do texto;
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: este capítulo reporta à pesquisa bibliográfica feita durante o desenvolvimento da tese e constitui o embasamento teórico dos estudos realizados, considerando os principais temas envolvidos no trabalho – gestão sustentável da produção e cenário energético brasileiro.
- Capítulo 3 – Método da Pesquisa: neste capítulo encontra-se a definição do método que foi desenvolvido nesta tese e os passos de procedimentos realizados para alcançar o objetivo definido;
- Capítulo 4 – Apresentação e Discussão de Resultados: este capítulo

apresenta o estudo realizado para a análise de desempenho dos setores industriais brasileiros, bem como a caracterização dos setores com menor desempenho, e seus respectivos inventários de emissão de CO₂ pelas fontes energéticas utilizadas. Também, é apresentada uma discussão sobre as políticas públicas para a fonte que melhor contribuiria para a redução das emissões dos setores, de acordo com a mensuração realizada.

- Capítulo 5 – Conclusão: neste capítulo são apresentadas as considerações e conclusões alcançadas com a realização do trabalho, bem como as generalizações admissíveis para o mesmo;
- Capítulo 6 – Referências Bibliográficas: apresenta as obras consultadas para o desenvolvimento desta tese.

Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está organizada em dois subitens, dedicados aos principais temas que constituem a base conceitual deste trabalho: 2.1 – Gestão Sustentável da Produção e 2.2 - Cenário Energético Brasileiro.

O tema gestão sustentável da produção é um tema amplamente discutido nos trabalhos acadêmicos. Deste modo, no item 2.1 são apresentados conceitos e definições, contemplando os três pilares básicos do tripé da sustentabilidade, além de apresentar os estágios de evolução dos sistemas de produção rumo aos modelos sustentáveis.

Da mesma forma, o setor energético brasileiro, também, vem recebendo grande atenção, sendo abordado em diversos estudos realizados pelo governo e pela academia. No item 2.2, são apresentadas as principais características deste setor, contemplando seu histórico e previsões, de acordo com relatórios governamentais e artigos de jornais e da mídia em geral. Além disso, são tratadas diversas fontes de energia com suas diretrizes políticas específicas, além de discutir como o setor industrial e de transportes está inserido no contexto energético.

2.1 - Gestão Sustentável da Produção

No princípio, as organizações precisavam preocupar-se apenas com a eficiência dos sistemas produtivos. No entanto, com o crescimento da consciência ecológica, na sociedade, no governo e nas próprias empresas, que passaram a incorporar essa orientação em suas estratégias, o contexto de atuação das organizações está se tornando cada dia mais complexo.

As empresas que eram vistas apenas como instituições econômicas com responsabilidades referentes a resolver os problemas econômicos fundamentais (o que

produzir, como produzir e para quem produzir) têm presenciado o surgimento de novos papéis que devem ser desempenhados, como o resultado das alterações no ambiente em que operam.

De acordo com Donaire (1999), na visão tradicional da empresa como instituição apenas econômica, sua responsabilidade ia pouco além da busca de maximização dos lucros e da minimização dos custos. Já a visão moderna da empresa em relação a seu ambiente é muito mais complexa, pois ela é vista como uma instituição sociopolítica. Portanto, muitas das decisões internas das organizações, hoje, requerem considerações explícitas das influências provindas do ambiente externo, e seu contexto inclui considerações de caráter social, político e ambiental que se somam às tradicionais considerações econômicas.

Nesse contexto, o conceito de desenvolvimento sustentável vem ganhando força desde que a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente da Organização das Nações Unidas (ONU) publicou seu relatório, em 1987, sob a denominação de “Nosso futuro comum”, que ficou mais conhecido como Relatório *Brundtland*, que teve sua inspiração na 1ª Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente realizada em 1972, em Estocolmo, na Suécia.

De acordo com Braga (2007), o relatório critica o uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas, apontando a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes.

O termo desenvolvimento sustentável é definido pela *World Commission on Environment and Development* (1987) como o desenvolvimento que busca a satisfação das necessidades das gerações atuais sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades. Além dessa dimensão temporal, Erber (2011) afirma que a sustentabilidade envolve a segurança do suprimento, a acessibilidade dos produtos ofertados, a equidade social dessa oferta e, naturalmente, que as propostas sejam ambientalmente aceitáveis e economicamente viáveis, considerando os custos das medidas de mitigação e compensação necessárias.

Em 2002, Almeida já reconhecia que o termo desenvolvimento sustentável já havia se firmado a ponto de incorporar as dimensões econômica, ambiental e social das ações do Homem. De acordo com esse autor, “no novo mundo tripolar, o paradigma é o da integração de economia, ambiente e sociedade, conduzida e praticada em conjunto por três grupos: empresários, governo e sociedade civil organizada” (ALMEIDA, 2002, p. 23).

Desta forma, uma empresa sustentável, com base na classificação de Elkington (1994), é aquela que contribui para o desenvolvimento sustentável ao gerar, simultaneamente, benefícios econômicos, sociais e ambientais, conhecidos com o *triple bottom line*, os três pilares do desenvolvimento sustentável - expressão que se tornou popular com a divulgação de seu livro *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*, em 1997. Com essa definição o autor indica que a atuação das empresas deve atender a integração das dimensões sociais e ambientais nas estratégias econômicas (ELKINGTON, 2001).

De acordo com Hart e Milstein (2003), esse conceito, baseia-se na ideia de que um desempenho nas esferas ambiental e social agrega valor à organização e, por isso, deve ser tratada com importância equivalente ao desempenho econômico.

Segundo Henriques e Sardosky (1996), muitos fatores, como pressão do consumidor, pressão dos acionistas, regulação do governo e a pressão da própria sociedade, são relevantes na postura de uma empresa ambientalmente responsável.

Araújo (2010) afirma que entre os objetivos pretendidos, por uma empresa, com a adoção de uma estratégia que vise a sustentabilidade, têm-se: obtenção de informações para *Benchmarking* interno e externo de suas atividades, obediência às leis e normas, melhora na imagem da companhia e, finalmente, monitoramento constante visando a melhoria da eficiência operacional no tempo. As operações de *Benchmarking* fazem parte dos programas de melhoria contínua, onde medidas de desempenho da organização são comparadas com valores de referência.

Nesse cenário, é possível concluir que a preocupação ambiental, além de ser uma exigência punida com multas e sanções, também, inscreve-se em um quadro de ameaças e oportunidades, em que as consequências passam a significar posições na concorrência e a própria permanência no mercado.

No entanto, Erber (2011) destaca que é evidente que a maioria dos processos produtivos atuais, que empregam maciçamente recursos naturais não renováveis e parcialmente recicláveis, dificilmente atende plenamente a todos os requisitos relacionados à sustentabilidade, pois a médio ou longo prazo esses recursos tendem a ser esgotados ou a custar muito mais do que atualmente. E, além do esgotamento dos recursos naturais, cada vez mais se torna aguda a percepção das limitações da capacidade do meio ambiente de absorver, sem alterações significativas e prejudiciais à sustentabilidade do desenvolvimento, os efeitos das atividades das sociedades modernas, acionadas principalmente por energias que, além de não serem renováveis, são responsáveis por impactos ambientais praticamente irreversíveis e seriamente prejudiciais à maioria das populações.

Neste contexto, vale mencionar a que, a partir da década de 1990, alguns autores passaram a defender que a interação entre crescimento econômico e problemas ambientais apresenta certa regularidade. Esta evidência empírica foi mostrada inicialmente por Grossman e Krueger (1991), onde a relação entre PIB per capita e emissão de poluentes toma a forma de um “U-invertido” ou Curva Ambiental de Kuznets (CAK), como assim passou a ser denominada.

A referência para este tipo de estudo foi o trabalho de Kuznets (1955), que apresenta a relação entre a distribuição de renda e o desenvolvimento econômico, a partir da hipótese de que essa seria uma relação não linear. Para o economista, a relação entre a distribuição de renda e o desenvolvimento econômico, se configura na forma de um “U invertido” (curva de Kuznets), indicando que a desigualdade de renda é crescente nos primeiros estágios do desenvolvimento. Entretanto, Kuznets (1955) considera que, a partir de determinado momento, a desigualdade de renda decresce, ao passo que o produto continua a aumentar.

No caso da CAK, de acordo com Arrow *et al.* (1995), a explicação para o seu formato é que nos estágios iniciais de desenvolvimento econômico, o aumento da poluição é considerado como um efeito colateral aceitável de crescimento econômico. No entanto, quando um país alcança certo nível de maturidade, as pessoas dão mais atenção às questões ambientais. Isto leva à legislação ambiental, às novas instituições para a proteção do meio ambiente, entre outros. No entanto, os autores alertam que a liberalização econômica e outras políticas que promovam o crescimento do produto interno bruto não são substitutos para a política ambiental. Pelo contrário, pode ser desejável que sejam acompanhados por reformas políticas mais rigorosas, a fim de melhorar os indícios de danos ambientais para os usuários dos recursos naturais.

Da mesma forma, o estudo de Smulders *et al.* (2011), que buscou uma relação teórica para a relação em forma de U invertido entre poluição e renda, frequentemente encontrada na pesquisa empírica (CAK), confirmou que a regulação é necessária para o controle da poluição. Em seu trabalho, regulação foi previamente baseada no argumento que a demanda por qualidade ambiental aumenta com a renda. Entretanto, os resultados da pesquisa indicaram que uma tecnologia com baixo custo será adotada assim que se tornar disponível, sendo que uma tecnologia com alta intensidade de poluição apenas será abandonada quando a poluição for tributada com uma taxa suficientemente alta. Outro ponto que os autores destacam é que a regulação não é automática. Leva-se tempo para reconhecer problemas de

poluição e projetar ações adequadas. Logo, é necessário estar atento sobre novos poluentes e desenhar sistemas dinâmicos de ação preventiva ou regras responsáveis.

Diante destes argumentos, em 1998, a Confederação Nacional das Indústrias publicou 11 princípios, apresentados no Quadro 1, que expressam os desafios propostos ao setor produtivo para a construção do desenvolvimento sustentável.

DECLARAÇÃO DE PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
1. Promover a efetiva participação proativa do setor industrial, em conjunto com a sociedade, os parlamentares, o governo e organizações não governamentais no sentido de desenvolver e aperfeiçoar leis, regulamentos e padrões ambientais.
2. Exercer a liderança empresarial, junto à sociedade, em relação aos assuntos ambientais.
3. Incrementar a competitividade da indústria brasileira, respeitados os conceitos de desenvolvimento sustentável e o uso racional dos recursos naturais e de energia.
4. Promover a melhoria contínua e o aperfeiçoamento dos sistemas de gerenciamento ambiental, saúde e segurança do trabalho nas empresas.
5. Promover a monitoração e a avaliação dos processos e parâmetros ambientais nas empresas. Antecipar a análise e os estudos das questões que possam causar problemas ao meio ambiente e à saúde humana, bem como implementar ações apropriadas para proteger o meio ambiente.
6. Apoiar e reconhecer a importância do envolvimento contínuo e permanente dos trabalhadores e do comprometimento da supervisão nas empresas, assegurando que os mesmos tenham o conhecimento e o treinamento necessários com relação às questões ambientais.
7. Incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias limpas, com o objetivo de reduzir ou eliminar impactos adversos ao meio ambiente e à saúde da comunidade.
8. Estimular o relacionamento e parcerias do setor privado com o governo e com a sociedade em geral, na busca do desenvolvimento sustentável, bem como na melhoria contínua dos processos de comunicação.
9. Estimular as lideranças empresariais a agirem permanentemente junto à sociedade com relação aos assuntos ambientais.
10. Incentivar o desenvolvimento e o fornecimento de produtos e serviços que não produzam impactos inadequados ao meio ambiente e à saúde da comunidade.
11. Promover a máxima divulgação e conhecimento da Agenda 21 e estimular sua implementação.

Quadro 1 – Declaração de Princípios da Indústria para o Desenvolvimento Sustentável

Fonte: CNI (2002)

Diante desse contexto, vale apresentar a evolução dos sistemas de produção rumo aos modelos sustentáveis, que pode ser resumido em quatro diferentes estágios, representados pela Figura 1.

Figura 1 – Evolução dos sistemas de produção rumo a modelos sustentáveis
Fonte: ARAÚJO (2010)

De acordo com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), sendo também possível observar pela Figura 1, as empresas começaram por lidar com problemas de poluição em seus processos produtivos através da Gestão da Conformidade. Em seguida, passaram a evitar pró - ativamente a poluição através da Produção Mais Limpa. Posteriormente, surgiu a Eco Eficiência, ao estabelecer, pela primeira vez, a ligação entre melhorias ambientais e benefícios econômicos. Por fim, surgiu a abordagem na qual o setor privado objetiva equilibrar os três pilares da sustentabilidade (justiça social, prosperidade econômica e balanço ecológico) (WBCSD, 2000).

Desta forma, a primeira aproximação trata de práticas voltadas para o tratamento de perdas e resíduos, também conhecida como aproximação de “fim de tubo”. Rusinko (2007) explica que o controle ao final do processo é uma abordagem que se refere tipicamente à armazenagem, tratamento e/ou disposição da poluição depois que é criada, não contribuindo para a diminuição da geração de novos poluentes. Segundo Porter e Linde (1995), a visão predominante de um *trade-off* inerente e fixo, entre economia e meio ambiente, surgiu de tal abordagem de controle das operações, cuja crença é de que para aprimorar a qualidade ambiental é preciso elevar custos. Um exemplo de controle de poluição é a instalação de filtros em instalações para a descarga de gases, com o objetivo de prevenir o lançamento de substâncias tóxicas na atmosfera.

Já a segunda abordagem, surgiu em 1998, patrocinada pela UNEP (*United Nations Environmental Program*). O conceito de Produção mais Limpa pode ser interpretado como “a aplicação contínua de uma estratégia de prevenção ambiental voltada a produtos e

processos com o objetivo de diminuir os riscos ao meio-ambiente e a população” (UNEP, 1996, p.5).

O Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD) afirma que esta abordagem incorpora o uso mais eficiente dos recursos naturais, além de minimizar os gastos e a poluição, bem como os riscos à saúde humana e à sua segurança (WBCSD, 1998). Em resumo, ela lida com os aspectos ambientais na sua fonte e não no final do processo, sobrepondo-se a abordagem do tipo “fim de tubo”.

No caso do processo produtivo, produção mais limpa inclui economizar matéria prima e energia, eliminar o uso de materiais tóxicos e reduzir a quantidade e a toxicidade de todas as emissões e gastos. Já para os produtos, envolve reduzir os seus efeitos negativos ao longo do seu ciclo de vida, desde a extração da matéria prima até a sua disposição final. Para os serviços, a estratégia foca em incorporar preocupações ambientais durante o seu planejamento e execução (WBCSD, 1998).

Pelos resultados do estudo de Rusinko (2007), pôde-se comprovar que as práticas de produção mais limpa trouxeram desdobramentos positivos para as empresas que participaram de sua pesquisa. Por exemplo, entre as empresas pesquisadas, 92,3% promoveram melhorias visando diminuir as emissões, como consequências desfrutaram de uma melhor imagem perante os *stakeholders* (91,7%) e de uma redução de custos (41,7%), além de terem contribuído para a difusão de novas ideias (83,3%) e para a expansão de suas vendas (50%).

Com relação à terceira abordagem, a eco eficiência é uma filosofia de gestão que encoraja o mundo empresarial a procurar melhorias ambientais que potenciem, paralelamente, benefícios econômicos (WBCSD, 2000).

Vale ressaltar que Porter e Linde (1995) consideram a poluição, da mesma forma que os princípios da eco eficiência, como uma forma de desperdício econômico. De acordo com esses autores, sucata, substâncias tóxicas ou energia descartada no meio ambiente como poluição são sinais claros de que recursos foram usados de maneira incorreta, ineficiente ou ineficaz. Para eles, os gestores, que, hoje, focam os custos de eliminação e tratamento da poluição, devem mudar sua atenção para incluir os custos de oportunidade da poluição - desperdício de recursos, desperdício de esforços, o que diminui o valor do produto para o cliente.

Considerando a poluição como desperdício e que, como tal, sua eliminação pode diminuir custos ou melhorar a qualidade do produto ou processo, para Porter e Linde (1995) a regulação é necessária, apenas, por seis razões principais:

- Para criar uma pressão que motiva as empresas a inovar, destacando o importante papel de pressão externa para superar a inércia organizacional e promover o pensamento criativo;
- Para melhorar a qualidade ambiental nos casos em que a inovação e as melhorias resultantes da produtividade de recursos não compensaram completamente o custo da conformidade, ou no caso da necessidade de tempo para efeitos de aprendizagem para reduzir o custo global de soluções inovadoras;
- Para alertar e educar as empresas sobre as prováveis ineficiências de recursos e possíveis áreas de melhoria tecnológica (embora o governo não possa saber melhor do que empresas como lidar com elas);
- Para aumentar a probabilidade de que as inovações de produtos e inovações de processo, em geral, sejam ambientalmente amigáveis;
- Para criar a demanda por melhorias ambientais até que empresas e clientes sejam capazes de perceber e medir a ineficiência de recursos de poluição;
- Para nivelar o mercado durante o período de transição para a inovação baseada em soluções ambientais, garantindo que uma empresa não pode ganhar posição, evitando investimentos ambientais.

A WBCSD (2000) destaca que para atingir a eco eficiência deve-se ofertar bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas e contribuam para a qualidade de vida, ao mesmo tempo que reduzam progressivamente o impacto ecológico e a intensidade de utilização de recursos ao longo do ciclo de vida. Desta forma, são identificados sete componentes da eco eficiência (WBCSD, 1998):

1. Reduzir a intensidade de material de produtos e serviços;
2. Reduzir a intensidade de energia de produtos e serviços;
3. Reduzir a dispersão tóxica;
4. Aumentar a reciclabilidade de materiais;
5. Maximizar o uso de recursos renováveis sustentáveis;
6. Facilitar reprocessamento do material (reduzir *material durability*);
7. Aumentar a intensidade do uso de produtos e serviços.

Como é possível observar, tanto a produção mais limpa como a eco eficiência possuem objetivos similares. Porém, a eco eficiência vai além ao abordar o aspecto econômico junto à visão de produção mais limpa. Já o lado social não está explícito em

nenhuma destas duas abordagens, sendo que o mesmo somente será incluído no último estágio, o da Produção Sustentável.

Deste modo, como já comentado, Glavic e Lukman (2007) apresentam a produção sustentável como sendo a criação de bens por meio de processos e sistemas não poluentes, que conservam energia e recursos naturais de forma economicamente viável, segura e saudável para os funcionários, comunidades e consumidores e que são socialmente e criativamente gratificantes para todas as partes interessadas no curto e longo prazo. Logo, de acordo com Araújo (2010), neste estágio a empresa deve atender a uma série de boas práticas já difundidas, como a economia de água, energia e recursos materiais, somadas a novas regras, principalmente voltadas à dimensão social.

Almeida (2002) afirma que, para ser sustentável, uma empresa ou empreendimento tem que buscar, em todas as suas ações e decisões, em todos os seus processos e produtos, incessantemente e permanentemente, a eco eficiência, o que significa dizer que a organização deve produzir mais produtos de melhor qualidade, com menos poluição e menos uso dos recursos naturais. Além disso, a empresa deve ser socialmente responsável. Portanto, a organização que quer ser sustentável deve incluir entre os seus objetivos o cuidado com o meio ambiente, o bem-estar do *stakeholder* e a constante melhoria da sua própria reputação.

Dias (2007) afirma que, em termos ambientais, além da organização pautar-se pela eco eficiência dos seus processos produtivos e adotar a produção mais limpa, deve oferecer condições para o desenvolvimento de uma cultura ambiental organizacional, adotar uma postura de responsabilidade ambiental, buscando evitar a contaminação de qualquer tipo de ambiente natural, e procurar participar de todas as atividades patrocinadas pelas autoridades governamentais locais e regionais no que diz respeito ao meio ambiente.

Jabbour (2010) destaca três fases que definem os diferentes estágios de evolução das organizações para um gerenciamento ambiental corporativo, que são: reativa, preventiva e proativa.

A fase reativa é a fase menos desenvolvida da gestão ambiental. A organização simplesmente reage a legislação e regulamentação ambiental. Iniciativas de gestão ambiental estão limitadas ao setor operacional; tecnologias de controle ao final do processo são adotadas para evitar a poluição que viole critérios, normas ou outros limites numéricos (JABBOUR, 2010). De acordo com Fernandes *et al.* (2001), nesta etapa, a questão ambiental é considerada como um custo a mais e, assim, uma ameaça à competitividade da empresa.

Na fase preventiva a organização busca estratégias eficazes para otimizar a sua relação com o meio ambiente através de melhorias na eficiência e através da redução, reutilização e reciclagem de materiais. Para que isto ocorra, é necessário envolver mais, se não todos, os segmentos da organização, tanto departamentais como hierárquicos. A implementação bem sucedida resultará em reduções significativas no consumo de energia e água, por exemplo (JABBOUR, 2010). Fernandes *et al.* (2001) aponta que nesta fase a empresa adota uma estratégia ofensiva e afirma que, nesta etapa, os gastos com a questão ambiental são encarados como uma oportunidade de redução nos custos de produção.

Por fim, a fase pró-ativa é a etapa final, na qual as preocupações ambientais evoluem para um componente chave da estratégia de negócios da organização e estão integradas com o sucesso em atividades de planejamento, levando a uma vantagem competitiva. Nesta fase, é necessário modificar produtos e processos, e incorporar fornecedores, quando necessário, impulsionando mudanças ambientais positivas à jusante da cadeia de suprimentos (JABBOUR, 2010). De acordo com Fernandes *et al.* (2001), nesta fase a empresa adota uma estratégia inovativa, antecipando os futuros problemas ambientais. A questão ambiental passa a ser uma preocupação de toda a administração da empresa, sendo percebida como uma oportunidade e uma ameaça, simultaneamente.

Vale mencionar, ainda, que Jabbour (2010) mostrou, em sua pesquisa, que as empresas brasileiras podem adotar diferentes estratégias ambientais que são tanto reativas como pró-ativas. A evolução de suas estratégias nem sempre é um processo gradual de mudança do foco sobre a legislação ambiental para a eco eficiência. Diferentes tipos de estratégias podem coexistir em uma empresa brasileira, porque respondem a diversas pressões dos *stakeholders*.

No entanto, é importante pontuar o trabalho de Huesemann (2003), que defende que, apesar da eco eficiência estar sendo promovida como a principal ferramenta para alcançar a sustentabilidade ambiental, as melhorias na eco eficiência, por si só, não garantem uma redução no impacto ambiental total, já que se permite que o crescimento econômico continue. Segundo Huesemann (2003), uma vez que o impacto ambiental total das atividades econômicas humanas não é exclusivamente causado por tecnologias poluentes, mas também é dependente de fatores sociais, como o número de consumidores; a menos que o crescimento da população e do consumo seja restringido, as melhorias tecnológicas apenas retardam o aparecimento de consequências negativas. Deste modo, o autor conclui que melhorias na eco eficiência só serão eficazes se houver um compromisso da sociedade em limitar o consumo

em níveis sustentáveis. Isto certamente significaria o fim da atual dependência em relação ao crescimento econômico e uma transição para uma economia de estado estacionário.

Já em termos sociais, Dias (2007) explica que a empresa deve satisfazer aos requisitos de proporcionar as melhores condições de trabalho aos seus empregados, procurando contemplar a diversidade cultural existente na sociedade em que atua, além de proporcionar oportunidade aos deficientes de modo geral. Da mesma forma, os seus dirigentes devem participar ativamente das atividades socioculturais de expressão da comunidade em que vive no entorno da unidade produtiva.

Portanto, pode-se concluir que as empresas não podem mais pensar em desenvolvimento econômico, sem a paralela preservação do meio ambiente e do benefício mútuo da sociedade. Considerando isso, a utilização de fontes mais limpas de energia nos processos produtivos das indústrias, em substituição aos combustíveis fósseis, apresenta-se como uma boa opção para diminuir os impactos ambientais e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da sociedade e a própria reputação da empresa, contribuindo, desta maneira, com o desenvolvimento sustentável. Da mesma forma, questões relacionadas ao meio ambiente e à sociedade passaram a constituir elemento fundamental de qualquer política energética.

Cabe, assim, abordar, nesta pesquisa, aspectos sobre o cenário energético brasileiro, com destaque para as políticas públicas que estão sendo adotadas nesta área, considerando a importância deste tema dentro do contexto de desenvolvimento sustentável, além de considerar o setor industrial e as previsões de disponibilidade energética em médio prazo.

2.2 - Cenário Energético Brasileiro

Numa abordagem simplificada, os efeitos ambientais das atividades antrópicas podem ser locais ou globais. Dentre os primeiros, destacam-se o desmatamento, a realocação de populações, a inutilização de bens infraestruturais, chuvas ácidas, emissões veiculares decorrentes do uso de combustíveis, dentre outros. Os segundos são, principalmente, aqueles relacionados às emissões de gases de efeito estufa que, direta ou indiretamente, causam mudança de clima e aquecimento global.

Como já comentado, o principal gás do efeito estufa é o CO₂. A fim de melhor compreender a dinâmica das emissões de CO₂ no sistema terrestre e posterior análise de sua participação para o aquecimento global, faz-se necessário um estudo prévio do ciclo do carbono, representado pela Figura 2.

Figura 2 – Diagrama esquemático simplificado do ciclo do carbono
Fonte: OLIVEIRA (2010)

Segundo Braga et al. (2002), a atmosfera é o reservatório de carbono, e é nela que o nutriente das plantas encontra-se na forma de dióxido de carbono (CO₂) - um gás que, nas condições naturais de temperatura e pressão, é inodoro e incolor. O carbono é o principal constituinte da matéria orgânica, e participa em até 49% do peso orgânico seco. Vale ressaltar que o CO₂, liberado por todas as plantas e animais em seu processo vital de respiração, recicla-se a uma taxa de, aproximadamente, uma vez a cada 300 anos (MILLER, 1985).

O gás carbônico é utilizado pelas plantas juntamente com o vapor de água para, na presença de luz, sintetizar compostos orgânicos de carbono, hidrogênio e oxigênio. A reação de fotossíntese pode ser expressa, de acordo com Braga et al. (2002), por:

É importante observar que, nesse processo, o dióxido de carbono é retirado da atmosfera e o carbono da molécula de CO₂ é fixado em sua forma orgânica.

A energia que fica armazenada nas moléculas orgânicas (como a glicose) é liberada no processo de respiração, como indicado na seguinte reação química:

Por meio das expressões (1) e (2) nota-se que o carbono passa de sua forma inorgânica a sua forma orgânica e vice-versa, completando assim o seu ciclo biogeoquímico.

Têm-se ainda os reservatórios terrestres e aquáticos de gás carbônico, nos quais pequenas perturbações podem causar grandes efeitos na concentração atmosférica. Tais reservatórios armazenam mais carbono do que o ambiente atmosférico.

A interação de CO₂ entre os reservatórios aquático e atmosférico ocorre por meio de uma reação de difusão¹, cujo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera resulta na absorção desse excesso pelo oceano. Entretanto, a partir da revolução industrial, o homem passou a fazer uso intenso dessa energia armazenada e no processo de combustão (queima) passou a devolver o CO₂ à atmosfera a uma taxa superior à capacidade de assimilação pelas plantas e pelo oceano (BRAGA et al., 2002).

Portanto, há ampla aceitação mundial da hipótese de que os efluentes da queima de combustíveis sejam responsáveis relevantes pelo efeito estufa. Hipótese confirmada pelo relatório do IPCC (2007), conforme já mencionado. O reconhecimento da importância desse fenômeno, conhecido há mais de um século, torna a dimensão ambiental um fator fundamental para a formulação de políticas energéticas, industriais, de transportes e rurais. De acordo com Erber (2011), diretor do INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética), em médio prazo, o emprego de combustíveis fósseis tende a ser limitado não mais pela sua disponibilidade ou pelo custo de sua obtenção, mas, também, pelo crescente custo ambiental de sua utilização.

O Brasil, no entanto, é um país notório pela participação elevada de energias renováveis na sua matriz energética, representando 44,1% da oferta interna de energia no ano de 2011 (BEN, 2012). No Mundo, em 2009, esta participação era de apenas 13,3% e nos países da OCDE, neste mesmo ano, era de 8,0% (RESULTADOS PRELIMINARES BEN, 2012). A Tabela 1 evidencia o aumento da participação deste tipo de fonte de energia no país ao longo desta década.

¹ Processo através do qual a atmosfera e a água trocam continuamente moléculas de CO₂. A difusão do dióxido de carbono nos oceanos é responsável por quase metade do carbono extraído da atmosfera. Os oceanos mais frios absorvem mais CO₂ do que as águas mais quentes, uma vez que tal gás é mais solúvel em altas pressões e baixas temperaturas (IPAM, 2013).

Tabela 1 – Oferta Interna de Energia (%)

Fontes	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Energia Não Renovável	59,0	60,7	59,0	56,3	56,2	55,5	55,0	54,1	54,1	52,7	54,9	55,9
Petróleo e Derivados	45,5	45,4	43,1	40,1	39,1	38,7	37,8	37,4	36,6	37,9	37,8	38,6
Gás Natural	5,4	6,5	7,5	7,7	8,9	9,4	9,6	9,3	10,3	8,7	10,2	10,1
Carvão Mineral e Coque	7,1	6,9	6,6	6,7	6,7	6,3	6,0	6,0	5,8	4,7	5,4	5,6
Urânio (U ₃ O ₈)	0,9	2	1,9	1,8	1,5	1,2	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5
Energia Renovável	41	39,3	41,0	43,7	43,8	44,5	45,0	45,9	45,9	47,3	45,1	44,1
Hidráulica e Eletricidade ¹	15,7	13,6	14,0	14,6	14,4	14,8	14,8	14,9	14,0	15,2	14,0	14,7
Lenha e Carvão Vegetal	12,1	11,6	11,9	12,9	13,2	13,0	12,6	12,0	11,6	10,1	9,7	9,7
Derivados da Cana	10,9	11,8	12,6	13,4	13,5	13,8	14,6	15,9	17,0	18,2	17,5	15,7
Outras Renováveis	2,3	2,4	2,5	2,8	2,7	2,9	3,0	3,1	3,4	3,8	3,9	4,1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹ 1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica).

Fonte: BEN (2012)

Como consequência, de acordo com os resultados preliminares do BEN (2010), as emissões do país relacionadas ao consumo de energia tem apresentado uma tendência decrescente ao longo desta década, como é possível observar pelo Gráfico 1. Em 2009, o indicador que mede a razão entre emissões geradas e energia consumida foi de 1,43 ton.CO₂/tep, contrastando significativamente com a média mundial que é de 2,39 ton.CO₂/tep e com a média dos países da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico), que é de 2,37 ton.CO₂/tep.

Gráfico 1 – Razão entre emissões geradas e energia consumida - Série Histórica - Brasil

Fonte: Resultados Preliminares BEN (2010)

No entanto, os estudos do Centro Comum de Investigação da União Européia (*Joint Research Centre* - JRC) apontam que as emissões per capita de CO₂, no Brasil,

passaram de 1,5 ton.CO₂/pessoa em 1990 para 2,2 ton.CO₂/pessoa em 2010. A pesquisa ainda mostrou que no mundo houve um crescimento de 45% das emissões de GEEs entre 1990 e 2010, e atingiu um recorde de 33 bilhões de toneladas de dióxido de carbono no último ano. Segundo o documento, a principal causa desse crescimento tão acentuado foi o desenvolvimento da economia de países emergentes. Em absoluto, todavia, as emissões destes países emergentes ainda tendem a ser menores que as dos desenvolvidos (JCR, 2011).

No caso do Brasil, as baixas emissões de CO₂ se devem, sobretudo, a expressiva participação da energia hidráulica na matriz energética brasileira. Como não havia petróleo que incentivasse a produção de energia termoeletrica no país, aproveitou-se o potencial hídrico do Brasil para se iniciar a produção de energia elétrica com a construção de hidrelétricas. Mais tarde, o aumento das preocupações com os impactos ambientais da produção e uso da energia mostrou que essa seria uma vantagem comparativa do país, ao possuir vastos recursos hídricos e enorme potencial hidrelétrico (PNE 2030, 2007).

No modelo do setor elétrico brasileiro, no início do século 20, predominaram as empresas privadas estrangeiras até a década de 1940, quando nasceu a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) para fazer a primeira hidrelétrica de Paulo Afonso (ZIMMERMANN, 2010).

Seguindo uma tendência mundial, durante as décadas de 1940 e 1950 as usinas passaram a ser cada vez maiores para que se reduzissem os custos de instalação e de geração. A concentração do setor nas mãos de poucas empresas privadas dava-lhes poder para cobrar caro e influir nas diretrizes de crescimento econômico do país (ELETROBRÁS, 2011).

Na década de 50, o presidente Getúlio Vargas planejou a criação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), mas somente foi viabilizada em 1961, pela Lei 3.890-A, e instalada em 11 de junho de 1962, com o objetivo de promover estudos e projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações, destinadas ao suprimento de energia elétrica do país (ELETROBRÁS, 2011).

Durante o período militar, houve um forte avanço no setor elétrico. Nos anos 1970, aconteceu uma estatização muito forte no país. Ficaram apenas pequenos grupos privados, sendo a maioria federais e estaduais (ZIMMERMANN, 2010). Este modelo funcionou bem até meados dessa década 1980, mantendo baixos os custos da energia e promovendo com isso o desenvolvimento econômico. No entanto, nesse processo, o setor elétrico acabou indo, praticamente, à falência, no fim da década de 1980.

De acordo com Luncon e Goldenberg (2007), este modelo criou sérios problemas, tais como:

1. Tarifas artificialmente baixas para eletricidade, o que ocorreu com quase todas as tarifas de serviços públicos praticadas pelo governo federal num esforço vão de controlar a inflação.
2. O uso político das empresas de produção e distribuição de gás e eletricidade envolvendo gerenciamento incompetente e a construção de inúmeras usinas hidrelétricas para obter benefícios políticos sem os recursos necessários para completá-los, o que garantiria um mínimo de retorno econômico.

No início da década de 1990, o programa de obras de geração foi praticamente paralisado e foi iniciada uma reorganização institucional do setor, com a finalidade de reduzir a presença do Estado na economia. Em março de 1993, a Lei nº 8.631 regulamentou as tarifas do serviço público de energia elétrica, diminuindo o controle da União sobre esses preços (ELETROBRÁS, 2011).

O governo federal brasileiro incentivou as privatizações, com ênfase na distribuição, oferecendo até mesmo pequenos incentivos para os governos estaduais. O princípio da concessão era que se explorasse o serviço por determinado período e depois se revertissem os benefícios para o Estado. Com isso, os governos estaduais foram atraídos para fazer processos de privatização (ZIMMERMANN, 2010).

Segundo Luncon e Goldemberg (2007), a desestatização parcial do sistema seguiu o procedimento adotado anteriormente pelos países da Europa Ocidental:

- i. Desverticalização da produção/geração, transmissão e distribuição de energia.
- ii. A introdução de competição na produção/geração, transmissão e distribuição de energia, bem como o livre acesso à rede.
- iii. Adoção de agências reguladoras independentes e privatização das empresas públicas.

Ressalta-se que política energética é de extrema importância, e consta no artigo 174 da Constituição que planejamento é função indelegável de governo. Logo, a agência reguladora surgiu com os objetivos de regular, mediar e fiscalizar, e não de fazer política econômica, política energética e planejamento (ZIMMERMANN, 2010).

A desestatização do setor elétrico foi apenas parcialmente realizada: ocorreu em cerca de 70% da capacidade de distribuição, mas em apenas 30% da geração. Isso levou a um colapso parcial do planejamento e à crise do “apagão” de 2001, uma vez que os investidores privados preocupados com incertezas regulatórias se mantiveram arredios a novos investimentos (LUNCON; GOLDEMBERG, 2007)

Deste modo, em 2001, uma seca levou o sistema brasileiro a entrar em racionamento de energia elétrica. Ocorreu falta de geração e, ao mesmo tempo, de linhas previstas para aumentar a integração energética. A falta de planejamento acabou causando blecautes de energia e os brasileiros precisaram reduzir o consumo. Para enfrentar essa crise de energia, as autoridades elaboraram alguns planos de ação, entre eles o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), criado em 2000.

O PPT se apresentava como decisivo para a diversificação da matriz de geração brasileira. Este programa previa a entrada de 49 termelétricas, a maioria a gás natural, das quais grande parte não saiu do papel e outras poucas foram viabilizadas. No entanto, ainda assim, houve um aumento da geração termelétrica nessa época (PNE 2030, 2007).

Na geração térmica são utilizados, como combustíveis, principalmente, derivados de petróleo tais como óleo diesel e óleo combustível, além do carvão, que começaram a ceder espaço para a geração a partir do gás natural em meados da década de 90 (PNE 2030, 2007).

Atualmente, no entanto, não está previsto um grande programa de expansão da geração de eletricidade envolvendo usinas termelétricas à gás (MME, 2007). Porém, a grande quantidade de gás descoberto na camada pré-sal situada no litoral brasileiro, entre os estados do Espírito Santo e Santa Catarina, abre a possibilidade das térmicas a gás serem revistas.

O avanço deste combustível pode ser visto como positivo do ponto de vista ambiental, na medida em que o gás desloca parte do consumo de derivados de petróleo e de carvão e é menos poluente do que estes energéticos.

Apesar de ser um combustível fóssil, o gás natural é considerado limpo no mundo todo por apresentar baixos índices de emissão de poluentes na atmosfera, como óxidos de nitrogênio, óxido de enxofre e particulados, bem como de dióxido do carbono, quando comparado aos demais combustíveis fósseis. Apenas como exemplo, o estudo sobre gás natural do Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007) registra que o volume de CO₂ lançado na atmosfera pode ser entre 20% e 23% inferior àquele produzido pela geração a partir do óleo combustível e entre 40% e 50% inferior aos casos de geração a partir de combustíveis sólidos, como o carvão mineral.

Outra vantagem do gás natural é com relação à facilidade de operação, que pode ser comparado à energia elétrica. Além disso, apresenta queimas praticamente isentas de contaminantes, o que evita etapas intermediárias de transformação de energia e representa grandes ganhos em termos de eficiência e racionalidade do uso deste energético (SANTOS, 2002). Também, não necessita estocagem, o que elimina despesas com fretes e custos

associados à área física de armazenagem. Além de oferecer maior segurança: por ser mais leve que o ar, dissipa-se rapidamente em caso de vazamento (COMGAS, 2011).

Portanto, o gás natural representa uma boa alternativa para o setor industrial na busca por fontes mais limpas de energia. Segundo a Petrobrás (2011), este energético é utilizado na indústria como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz; como matéria-prima nos setores químicos e petroquímicos, principalmente para a produção de metanol, e de fertilizantes, para a produção de amônia e ureia. É usado ainda como redutor siderúrgico na fabricação de aço.

No entanto, com relação à oferta de tecnologias a gás, o número de fornecedores nacionais é muito restrito para atender às especificidades de inúmeras aplicações industriais, o que pode trazer preocupações para a empresa, já que a sua única opção seria recorrer ao fornecedor estrangeiro. Isso acarretaria elevados custos logísticos, falta de assistência técnica especializada e elevadas taxas de importação (LIMA, 2007).

Porém, ainda assim, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2021 (EPE, 2012a), projeta-se uma forte ampliação da oferta nacional do gás natural, saindo de um patamar de 31,4 milhões de tep em 2012 para 68,2 milhões de tep em 2021. Desta forma, apresenta um ganho substancial de participação da oferta de energia, saindo de 11,0% em 2012 para 15,5% em 2021, resultante de sua taxa média de crescimento de 9,4% neste período.

Além do avanço do gás natural, o pré-sal, também, contribuirá para a expansão da produção de petróleo no Brasil nos próximos 10 anos. De acordo com PDE 2021 (EPE, 2012a), o país praticamente triplicará sua produção, que passará dos 2,3 milhões de barris diários em 2012 para 5,4 milhões de barris por dia em 2021.

De acordo com o BEN (2012), no Brasil, os derivados de petróleo foram os principais energéticos utilizados no país em 2011 – um comportamento verificado ao longo dos últimos anos. Se somados óleo diesel, gasolina, GLP (gás liquefeito de petróleo), óleo combustível e querosene o consumo atingiu 80,667 milhões de tep, diante de um consumo total de 228,569 milhões de tep. Portanto, muito superior ao da energia elétrica que apresentou um consumo de 41,394 milhões de tep, como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Consumo Final Energético por Fonte (10³ tep)

Fontes	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás Natural	9.202	10.184	11.448	12.663	13.625	14.690	15.942	14.545	15.435	16.397
Carvão Mineral	3.016	3.294	3.594	3.519	3.496	3.727	3.840	2.958	3.238	3.484
Lenha	14.390	15.218	15.752	16.119	16.414	16.310	16.859	16.583	17.052	16.366
Bagaço de Cana	17.495	19.355	20.273	21.147	24.208	26.745	28.695	28.837	30.066	27.313
Lixívia	2.456	2.976	3.144	3.342	3.598	3.890	4.078	4.329	4.711	4.721
Outras Recuperações	804	904	874	907	709	1.126	1.202	1.242	1.333	1.357
Gás de Coqueria	1.178	1.259	1.342	1.328	1.289	1.387	1.065	1.200	1.434	1.555
Coque de Carvão Mineral	6.673	6.688	6.817	6.420	6.137	6.716	6.704	5.309	7.516	8.015
Elettricidade	27.642	29.430	30.955	32.267	33.536	35.443	36.830	36.638	39.964	41.394
Carvão Vegetal	4.609	5.432	6.353	6.248	6.085	6.247	6.209	3.970	4.648	4.990
Álcool Etílico	5.776	5.794	6.445	6.963	6.395	8.612	11.013	11.792	12.041	10.735
Outras Secundárias-Alcatrão	78	38	50	37	48	56	39	44	95	103
Subtotal Derivados de Petróleo	71.210	69.049	71.177	71.726	72.706	76.394	79.242	78.915	85.829	92.228
Óleo Diesel	31.694	30.885	32.657	32.382	32.816	34.836	37.442	36.911	41.350	43.745
Óleo Combustível	8.239	7.223	6.513	6.574	6.126	6.450	6.276	5.986	4.939	4.605
Gasolina	12.468	13.162	13.607	13.638	14.494	14.342	14.585	14.722	17.578	20.868
Gás Liquefeito de Petróleo	7.402	6.996	7.182	7.121	7.199	7.433	7.585	7.423	7.701	7.885
Nafta	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Querosene	3.161	2.221	2.369	2.578	2.401	2.632	2.823	2.839	3.195	3.564
Gás Canalizado	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outras Secundárias de Petróleo	8.216	8.562	8.848	9.433	9.670	10.702	10.531	11.035	11.065	11.562
Total	164.530	169.622	178.221	182.687	188.245	201.343	211.717	206.364	223.359	228.659

Fonte: BEN (2012)

Vale destacar que as fontes secundárias do petróleo, citadas na Tabela 2, são as fontes de energia resultantes de um ou mais processos de transformação do petróleo. De acordo com a ASPE (2011), são fontes de energia secundária o óleo diesel, gasolina, GLP (gás liquefeito de petróleo), querosene, óleo combustível, entre outros.

O óleo combustível, por exemplo, é um derivado do petróleo obtido no processo de refino. O produto é utilizado pela indústria para aquecimento de caldeiras e fornos, ou em motores de combustão interna para geração de calor (PETROBRAS, 2012). No entanto, sua combustão emite fuligem, dióxidos de enxofre, causador da chuva ácida, e o gás carbônico, um dos causadores do efeito estufa.

Este cenário de expansão, dos derivados de petróleo, teve a contribuição de alguns programas governamentais, como os programas chamados PROCAP (Programa de Capacitação Tecnológica da Petrobrás em Sistemas de Produção em Águas Profundas), que

permitiram a PETROBRÁS melhorar o conhecimento da empresa na produção de petróleo e gás sob lâminas de água de até 1000 m e também consolidar o seu conceito de produção baseado em sistemas flutuantes. O Programa, também, concentrou-se no desenvolvimento de tecnologias que possibilitam a redução de custos de investimento e de operação, assim como melhoram a eficiência e estendem a vida útil dos equipamentos em lâminas de água que podem superar os 2000 m. Com isso, o Programa busca o desenvolvimento de tecnologias que tornem técnica e economicamente factível a produção de petróleo e gás a grandes profundidades (MME, 2007).

A diretriz política governamental no caso da produção de petróleo e gás a partir de campos *offshore* com lâminas de água profundas deverá ser de apoiar integralmente os esforços da PETROBRÁS para aumentar substancialmente essa produção, permitindo que o País mantenha a autossuficiência no seu suprimento de petróleo e possa também atingi-la no caso do gás natural (MME, 2007).

Da mesma forma, o Programa de Mobilização da Indústria Nacional do Petróleo - PROMINP, concebido no âmbito do MME, tem por objetivo o fortalecimento da indústria nacional de bens e serviços e está centrado na área de petróleo e gás natural, gerando empregos e renda no País, ao agregar valor na cadeia produtiva local. As metas do Programa, elaboradas em conjunto com as empresas do setor, visam à maximização da participação da indústria nacional no fornecimento de bens e serviços, em bases competitivas e sustentáveis, atendendo demandas nacionais e internacionais. A diretriz política do governo em relação a outros programas na área de petróleo deverá ser no sentido de manter e aperfeiçoar programas desse tipo (MME, 2011).

No entanto, vale destacar que as diretrizes de exploração dos recursos do pré-sal devem ser compatíveis com a busca da manutenção de uma matriz energética com reduzida intensidade em carbono, especialmente porque isso tende a ser um diferencial competitivo da economia brasileira. Deste modo, de acordo com o EPE (2012a), em 2021, cerca de 50% da produção brasileira de petróleo será destinada ao mercado externo, possibilitando ao país, por um lado, auferir o bônus da grande renda oriunda da exportação de petróleo, e, por outro, evitar o ônus do aumento de emissões de gases poluentes decorrente do consumo de seus derivados.

Além dos derivados de petróleo, o carvão mineral e seus derivados também devem aumentar a suas participações. Vale mencionar que, ao ser submetido a temperaturas elevadas na ausência de oxigênio, o carvão mineral libera gases presentes em sua estrutura, originando um resíduo sólido de alto teor de carbono, poroso e infusível, que é o coque de

carvão mineral, sendo este processo conhecido como coqueificação (BORBA, 2001). Já a destilação do carvão mineral para a produção do gás combustível ou coque metalúrgico, dá origem ao alcatrão, um líquido viscoso, que também é um tipo de fonte de energia para algumas indústrias. Dentre os tipos de alcatrão, o alcatrão de hulha é o produto mais conhecido e comercializado, geralmente por siderúrgicas.

De todo carvão metalúrgico e coque de carvão mineral consumidos no país, 89%, em 2009, foram demandados pelo setor siderúrgico, sendo o restante destinado a segmentos como ferro-ligas, não ferrosos e mineração e pelletização (BEN, 2010).

Desta forma, a projeção da demanda de carvão mineral e coque está associada ao cenário de expansão da siderurgia, assim como dos segmentos de ferros-liga, não ferrosos, mineração e pelletização, enquanto que a projeção de carvão vapor é função da geração termelétrica esperada ao longo do período decenal, de 2010 a 2020. Estima-se que o setor siderúrgico mantenha sua posição de responsável por cerca de 90% do consumo nacional de carvão mineral e do coque ao longo de todo o horizonte (EPE, 2012a). Nessas condições, de acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012a), a demanda nacional de carvão mineral e coque saltará de 15,7 milhões de tep, em 2012, para 24,0 milhões de tep, em 2021.

De acordo com o estudo do IPEA (2010), considerando a implementação dos projetos em construção e os licenciados nos últimos anos, apenas nas térmicas, a participação do carvão mineral deve passar de 5,8 para 15,9% e a do óleo combustível de 8,5 para 17,9%.

Assim sendo, de acordo com o relatório “Matriz Energética Nacional 2030” (MME, 2007), justifica-se o aprofundamento do conhecimento das tendências de geração limpa com o carvão mineral brasileiro pela perspectiva de ampliação da sua participação na matriz energética.

Em todos os casos de termoeletricidade a diretriz política do governo deveria ser no sentido de encorajar a utilização da “*clean-technology*”, a qual dispõe de coleta de cinzas volantes e SO_x , sendo o NO_x inibido ou coletado, e todos invariavelmente com algum destino proveitoso, dispondo as cinzas grossas de fundo das caldeiras - ao invés da praxe da disposição em aterros controlados e próximos da usina - na própria zona da mineração para enchimento das cavas mineradas, a que se juntariam os resíduos da própria mineração, atendendo, em princípio, as exigências ambientais. Nesse caso, as preocupações ambientais poderiam ser menores com as novas usinas, enquanto se encontram solução para as existentes usinas e os enormes passivos ligados a área de mineração (MME, 2007, p. 215).

Dentro deste contexto, a captura e estocagem de carbono, segundo Andersson e Johnsson (2006), é vista como uma das soluções chaves para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa, já que tem o potencial de contribuir para uma redução significativa e relativamente rápida das emissões de CO_2 provenientes da geração de energia, permitindo que

os combustíveis fósseis possam ser usados como uma ponte para um futuro não fóssil, além de aproveitar a infraestrutura existente da usina.

Vale ressaltar que numerosos estudos estão focados no desafio de capturar o CO_2 e, em termos de fontes de CO_2 , os estudos geralmente se concentram em usinas de carvão, que representam a maior parte das emissões mundiais de CO_2 do setor energético (BELAISSAOUI *et al.*, 2012).

Diferentes estratégias, tais como oxi-combustão, pré-combustão e pós-combustão e diferentes processos de captura (absorção, criogênico, membranas) têm sido propostos. Estes sistemas, além das usinas de carvão, também, podem ser aplicados em usinas de petróleo e gás natural e são descritos a seguir, de acordo com o IPCC (2005).

A captura pós-combustão é a captura de CO_2 dos gases combustíveis, produzidos pela combustão de combustíveis fósseis e biomassa. Em vez de serem descarregados diretamente para a atmosfera, os gases de combustão são passados através de um equipamento que separa a maior parte do CO_2 . O CO_2 alimenta um reservatório de armazenagem e o gás de combustão restante é descarregado para a atmosfera.

A Figura 3 ilustra um sistema de célula de combustível com célula de captura de CO_2 pós-combustão. Nesta figura é possível observar que o combustível contendo carbono é primeiro convertido em um gás de síntese. Este gás é oxidado em uma célula de combustível para produzir eletricidade. Na saída da célula de combustível, o CO_2 é separado do gás combustível e comprimido para transporte e armazenagem.

Figura 3 - Sistema de célula combustível com célula de captura de CO_2 pós-combustão.
Fonte: IPCC (2005)

Já a captura pré-combustão envolve a reação de um combustível com o oxigênio ou ar e/ou vapor para dar principalmente um “gás de síntese ou gás combustível” composto de monóxido de carbono e hidrogênio. O monóxido de carbono reage com o vapor de água em um reator catalítico, dando CO_2 e hidrogênio. O CO_2 é então separado,

geralmente por um processo de absorção física ou química, resultando em um combustível rico em hidrogênio que pode ser usado em muitas aplicações, tais como caldeiras, fornos, turbinas a gás, motores e células de combustível.

A seguir, a Figura 4 apresenta um sistema de célula combustível com captura de CO₂ pré-combustão. Neste sistema, o combustível contendo carbono é primeiramente convertido completamente em uma mistura de hidrogênio e CO₂. Em seguida, o hidrogênio e o CO₂ são separados. O combustível rico em H₂ é oxidado na célula de combustível para produzir eletricidade e o CO₂ é secado e comprimido para transporte e armazenagem

Figura 4– Sistema de célula combustível com célula de captura de CO₂ pré-combustão.

Fonte: IPCC (2005)

A oxi-combustão, por sua vez, ao invés de ar, utiliza o oxigênio quase puro para a combustão, resultando em um gás de combustão que é formado, principalmente, de CO₂ e H₂O. Se o combustível é queimado em oxigênio puro, a temperatura da chama é excessivamente elevada, mas o gás de combustão rico em CO₂ e/ou H₂O pode ser reciclado para o combustor, moderando esta temperatura. O oxigênio é normalmente produzido pela separação do ar em baixas temperaturas (criogênicos) e novas técnicas para fornecer oxigênio para o combustível, tais como membranas e *looping* químicos estão sendo desenvolvidas.

A Figura 5 ilustra o princípio de um ciclo combinado de oxi-combustível, no qual os gases de escape são reciclados, comprimidos e utilizados na câmara de combustão para controlar a temperatura de entrada da turbina.

Figura 5 - Princípio do ciclo combinado de turbina a gás de oxí-combustível.
Fonte: IPCC (2005)

Em 1982, Horn e Steinberg já haviam proposto um desenho que consistia em uma planta de queima de carvão, na qual o dióxido de carbono reciclado é misturado com o oxigênio e substitui o nitrogênio na combustão do carvão. A planta consiste essencialmente em: (1) separar o oxigênio do ar por meio de uma unidade de liquefação, (2) queimar o carvão na fornalha com oxigênio diluído com CO₂ reciclado para temperar a chama, e (3) liquefazer o CO₂ efluente. O dióxido de enxofre (SO₂) formado a partir do carvão se dissolve no dióxido de carbono e o excedente do CO₂ líquido seria transportado por oleoduto para armazenamento em longo prazo, em locais apropriados, ou para ser utilizado em operações de recuperação avançada de petróleo. O nitrogênio efluente da unidade de liquefação fica disponível para utilização ou é ventilado para a atmosfera. Como não há nenhum nitrogênio na chama de combustão, exceto para quantidades vestigiais em carvão, não haverá nenhuma formação de óxidos poluentes de nitrogênio (NO_x).

Com relação à posterior utilização do CO₂ em operações de recuperação avançada de petróleo, deve-se destacar que a indústria do petróleo tem injetado CO₂ em formações subterrâneas por muitos anos para melhorar a recuperação do óleo. Neste processo, o dióxido de carbono sob condições supercríticas atua como um poderoso solvente e é utilizado rotineiramente para a extração de óleo para fora dos reservatórios. O CO₂ supercrítico se dissolve no petróleo bruto, reduzindo eficazmente a viscosidade do óleo. Por conseguinte, permite que o óleo flua mais facilmente aos poços de produção, aumentando assim a produção (AYCAGUER *et al.*, 2001).

É importante destacar que, neste processo, o CO₂ pode ser proveniente de reservatórios naturais ou de plantas de reciclagem do gás produzido. Desta forma, o processo pode ser linear ou pode ser um ciclo. No caso de um processo linear, o CO₂ produzido

juntamente com o óleo é ventilado para a atmosfera. Se o CO₂ injetado vem exclusivamente de reservatórios naturais de CO₂, no processo, o CO₂ é apenas deslocado de um local fechado para outro, sem levar a um recuo das emissões antrópicas. Por outro lado, a reciclagem do CO₂ produzido possibilita maior independência a partir dos preços de CO₂, maior potencial de redução de emissões e redução do esgotamento dos reservatórios naturais de CO₂ (AYCAGUER *et al.*, 2001).

Deve-se ressaltar, todavia, que captura e estocagem de carbono seria apenas uma ponte para um futuro não fóssil. É importante lembrar que apesar deste processo diminuir a emissão de poluentes na geração de combustíveis fósseis, estes energéticos, como, por exemplo, o petróleo, serão posteriormente utilizados em outros processos que contribuirão para emissões de poluentes na atmosfera.

Deste modo, além da captura e estocagem de carbono, para diminuir as emissões de poluentes na atmosfera, como o dióxido de carbono, deve-se melhorar a eficiência de equipamentos e processos de modo a diminuir o consumo de energia e incrementar, por meio da substituição, a utilização de combustíveis com baixo teor de carbono, principalmente os de caráter renovável, como: biocombustíveis, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e energias solar e eólica; além de investir em pesquisa e desenvolvimento de fontes renováveis ainda não consolidadas.

Neste contexto, Vichi e Mansor (2009), ao contextualizar o Brasil no panorama energético mundial, concluíram que, apesar do Brasil ter grande parte de sua matriz energética baseada em fontes renováveis, exige-se uma diversificação cada vez maior da matriz energética, de modo a minimizar as chances de um novo racionamento de energia no país.

Vale reforçar que todas as formas de geração de energia provocam interferências no meio ambiente. Algumas são mais impactantes e outras menos. As usinas hidrelétricas, por exemplo, provocam vários impactos ambientais, como a inundação de áreas (destruindo a flora e a fauna), interferência no curso natural dos rios e nos seus ciclos (devido ao represamento e controle das águas) e deslocamento de populações. As linhas de transmissão também produzem impactos ambientais, embora de dimensão bastante inferior aos das usinas de geração (ELETROBRÁS, 2011). Fearnside (2004) destaca, ainda, que as hidrelétricas, também, emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa, quando construídas em áreas florestadas nos trópicos. Isso se deve a liberação de dióxido de carbono oriundo da decomposição aeróbica de biomassa de floresta morta nos reservatórios que projeta fora da água e, também, pela liberação de metano oriundo da decomposição anaeróbica de matéria não lignificada.

Até mesmo as energias solar e eólica causam impacto ambiental. A primeira exige um processo de mineração poluidor para extração do minério utilizado na fabricação da célula fotovoltaica. A segunda causa ruídos elevados nas proximidades dos geradores eólicos. Além disso, ambas deslocam a fauna e flora locais e ocupam espaços que poderiam dar lugar a outras atividades (ELETROBRÁS, 2011).

No entanto, devido aos grandes impactos ambientais causados pelas fontes fósseis de energia, as fontes renováveis de energia constituem uma importante opção complementar ao atendimento do crescimento das necessidades, tendo vantagens ambientais como a redução potencial dos gases responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera, especialmente o gás carbônico. Este fato, em associação com o crescimento intensivo do mercado de eletricidade e a dificuldade de atender suas necessidades satisfatoriamente, tem motivado a geração de energia descentralizada, o que favorece fontes renováveis (IPEA, 2010).

Apesar desta tendência de descentralização, vale destacar, todavia, que, de acordo com o relatório Matriz Energética Nacional 2030 (MME, 2007), no que concerne a energia elétrica, para manter a alta participação renovável, a hidroeletricidade continua sendo a que apresenta condições mais favoráveis para a produção de energia de base, tanto pelo potencial existente, como pela sua atratividade econômica, uma vez que seu impacto ambiental local pode ser bem quantificado, ter seu custo avaliado e incorporado ao custo da energia, além de atenuado e compensado.

No entanto, ainda de acordo com este relatório, no horizonte de longo prazo, torna-se fundamental preparar o País para a futura transição entre uma expansão predominantemente hidrelétrica, como ocorreu nos últimos quarenta anos, para uma expansão, com características completamente distintas, com uma participação crescente de fontes alternativas renováveis, como eólica e outras, e de usinas térmicas, utilizando diferentes insumos energéticos, de preferência também renováveis, como a biomassa.

Neste sentido, a política energética brasileira, baseada na Lei 9478/1997, destaca a importância da preservação do meio ambiente, a utilização de energias alternativas, o uso eficiente da energia e a diversificação da matriz energética (PRESIDÊNCIA, 2011). Carece, todavia, de um detalhamento estruturado.

Considerando isso, Erber (2011) afirma que uma política setorial, em particular a energética, deve ser formulada contemplando as prioridades nacionais, que devem ser definidas de forma clara, para assegurar que as prioridades e estratégias setoriais e globais sejam coerentes e complementares. Além de refletir os aspectos essenciais da política

econômica, social, ambiental e de segurança do país, a política energética precisa ser formulada considerando os recursos naturais, econômicos, tecnológicos e humanos disponíveis. Também precisam ser levadas em conta as repercussões de uma política energética de um país com as dimensões brasileiras, quer na demanda global de energia, quer sobre o meio ambiente global, no contexto de suas relações, compromissos e responsabilidades internacionais. Da mesma forma, é importante que, além de refletir sobre os princípios e objetivos gerais, a aplicação, também seja clara, de modo a assegurar a coerência e a transparência das decisões.

Geller *et al.* (2004) afirmam que o Brasil tem os mesmos objetivos e interesses dos EUA e outros países industrializados no que diz respeito à política energética, como: diversificação das fontes energéticas, redução da dependência de importação, e eliminação da ineficiência e do desperdício de energia. No entanto, o Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, também, possui outros objetivos e prioridades, entre eles, pode-se citar: garantir o abastecimento de energia adequado e evitar a escassez de energia, limitar as necessidades de investimento para satisfazer as necessidades de serviços de energia e promover o desenvolvimento social.

Deste modo, é possível concluir que o grande número de variáveis envolvidas no planejamento energético requer a existência de políticas complexas, cabendo ao governo o gerenciamento da expansão e a tarefa de definir políticas de interesse da sociedade que nem sempre estariam entre as prioridades do setor privado. Vale ressaltar, ainda, que há muito espaço para ampliar a gestão governamental, visto que, apesar de existentes, as ações exigindo maior eficiência no uso da energia final e priorizando tipos de energia associados à criação de mais empregos ainda apresentam resultados modestos (GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005).

Considerando-se o exposto, em linhas gerais, as diretrizes políticas do setor energético relativas à oferta de energia, de acordo com o relatório Matriz Energética Nacional 2030 (MME, 2007), deveriam se centrar nos seguintes pontos:

- Garantir a segurança de abastecimento, com modicidade tarifária, promovendo a livre concorrência, atraindo investimentos e garantindo a qualidade do abastecimento;
- Buscar manter a grande participação de energia renovável na Matriz, mantendo a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;
- Fomentar a eficiência energética na produção de energia no País;
- Incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional;

- Promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos e preservar o interesse nacional;
- Procurar utilizar sempre tecnologia nacional no desenvolvimento das fontes competitivas;
- Traçar trajetória de desenvolvimento das fontes que leve em conta sua disponibilidade e sua potencialidade até 2030, de modo à melhor aproveitá-las; e
- Procurar otimizar o transporte de energia entre a área em que ela é produzida até a chegada ao consumidor final, inclusive reduzindo ao mínimo as perdas envolvidas no processo.

Diante deste contexto, a seguir são tratadas outras fontes de energia com suas diretrizes políticas específicas.

2.2.1 - Fontes Renováveis de Energia

Uma fonte de energia é considerada renovável quando as condições naturais permitem sua reposição em um curto horizonte de tempo (GOLDEMBERG; LUCON, 2008) e são provenientes direta ou indiretamente da energia solar (BRAGA *et al.*, 2002). Fontes não renováveis de energia são aquelas que a natureza não tem condições de repor em um horizonte de tempo compatível com seu consumo pelos seres humanos (GOLDEMBERG; LUCON, 2008). No geral, têm tecnologia difundida, mas possuem um elevado impacto ambiental.

De acordo com IPCC (2011), o planeta dispõe de um grande potencial de energia que pode ser obtido de fontes renováveis. Essas fontes, segundo o documento, terão um papel crescente na mitigação das emissões de gases causadores da mudança climática e vão fornecer uma fração cada vez maior da energia primária no mundo a partir de 2020. Em 2008, a produção total de energias renováveis no mundo respondia por 12,9% do total da energia consumida no planeta. O cenário mais otimista analisado pelo IPCC estima que, em 2050, as fontes renováveis poderiam fornecer 77% das necessidades globais.

No entanto, o relatório alerta que as projeções devem ser vistas com cautela, porque sua realização depende de muitos fatores, inclusive do comportamento das outras fontes de energia que as renováveis podem substituir. Porém, o relatório do IPCC mostra que

a disponibilidade de energias renováveis vem crescendo rapidamente nos últimos anos, graças a políticas governamentais de incentivo em alguns países (IPCC, 2011).

De acordo com o MME (2007), usinas geradoras de energia elétrica empregando fontes renováveis de energia, como, por exemplo, energia hidráulica em PCHs - pequenas centrais hidrelétricas, energia eólica, energia solar e biomassa, e plantas de cogeração têm recebido incentivos financeiros em diversos países pela razão de que elas representam fontes locais de energia, que diminuem a dependência de fontes estrangeiras e propiciam benefícios ambientais.

Swift-Hook (2012) destaca, em seu artigo, que ventos e sol são entregues gratuitamente em todos os lugares. Os países não precisam lutar para protegê-los, se suas reservas forem ameaçadas ou se os dutos forem desligados. Sendo assim, este autor afirma que as fontes renováveis de energia podem evitar, inclusive, guerras mundiais. Segundo este pesquisador, poupar combustíveis importados é a verdadeira razão para o interesse atual em energia renovável. Ter sua própria energia pode, além de evitar disputas internacionais, garantir, a cada país, segurança no abastecimento, por meio da diminuição da dependência de combustível importado; além de um melhor equilíbrio no comércio.

Porém, é importante comentar que, de acordo com o estudo de Freitas, Dantas e Iizuka (2012), os países dos BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), grupo do qual o Brasil faz parte, aparentam não estarem atrás dos países desenvolvidos com relação à dependência de fontes renováveis de energia e estão adotando fontes modernas de energia renovável. No entanto, há diferenças na evolução do uso destas fontes. Desde o início dos anos 1990, a dependência de fontes renováveis tem diminuído neste grupo de países refletindo a redução no uso de fontes renováveis tradicionais, como lenha, resíduos agrícolas e resíduos de animais. Já nos países desenvolvidos, a dependência de energia renovável vem aumentando como o resultado de investimentos em tecnologias renováveis modernas e mais sustentáveis.

Da mesma forma, Anne Miroux, coordenadora da equipe que produziu o relatório Tecnologia e Inovação - Potencialização do Desenvolvimento com Energias Renováveis, divulgado pela Conferência da ONU para o Comércio e Desenvolvimento (Unctad), destaca que apesar do enorme potencial do Brasil em termos de energia eólica e solar, o país ainda não explora de forma suficiente estas energias modernas, concentrando-se em setores "maduros", como os biocombustíveis e a geração de energia hidrelétrica, criados há décadas (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2011).

Desta forma, vale destacar a importância das políticas públicas nesta área. Geller *et al.* (2004), ao explorarem as opções políticas para avançar em direção a um futuro energético mais limpo e sustentável, concluíram que as escolhas políticas podem ter um impacto significativo na tendência energética, no progresso social e na qualidade ambiental em um país em desenvolvimento, como o Brasil.

Diante disso, no Brasil, a Lei nº 10.438, promulgada em 26/04/2002, criou o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que é um instrumento para a diversificação da matriz energética nacional, o que garante maior confiabilidade e segurança ao abastecimento. Conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, este programa foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) (PRESIDÊNCIA, 2011).

De acordo com o MME (2010), o PROINFA apresenta como benefício ambiental a emissão evitada de 2,5 milhões de tCO₂/ano, contribuindo para negócios de Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Quioto, que deverá ser estendido por um segundo período, a partir de 2012, conforme decisão da COP-17. Além disso, o programa apresenta benefícios sociais, devido a geração de 150 mil postos de trabalho diretos e indiretos durante a construção e a operação; benefícios tecnológicos, como consequência dos investimentos de R\$ 4 bilhões na indústria nacional de equipamentos e materiais; benefícios estratégicos, uma vez que contribui para a complementaridade energética sazonal entre os regimes hidrológico/eólico (NE)² e hidrológico/biomassa (SE e S); e benefícios econômicos, ao considerar o investimento privado da ordem de R\$ 8,6 bilhões.

Vale ressaltar, ainda, que o grande desafio estabelecido pelo Programa foi o índice de 60% de nacionalização dos empreendimentos, que teve o objetivo principal de fomentar a indústria de base dessas fontes (MME, 2011).

O PROINFA é dividido em duas fases, visando estimular o desenvolvimento de energia renovável a curto e longo prazo. A primeira tinha como meta a contratação de 3.300 MW em projetos igualmente distribuídos para fontes de energia eólica, biomassa e PCH. No entanto, atualmente, o programa prevê a implantação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo 1.191,24 MW provenientes de 63 PCHs, 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa. A energia

² A cada 100 MW médios produzidos por parques eólicos, economizam-se 40m³/s de água na cascata do rio São Francisco (MME, 2010).

produzida pelas unidades geradoras selecionadas será adquirida pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). Os contratos dos geradores com a Eletrobrás terão duração de 20 anos, contados a partir da entrada em operação (MME, 2011).

A segunda fase do programa estabelece, de acordo com a Lei 10.438 (2002), que, uma vez atingida a meta de 3.300 MW, o desenvolvimento do Programa será realizado de forma que as fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa atendam a 10% do consumo anual de energia elétrica no País, objetivo a ser alcançado em até 20 (vinte) anos. A aquisição será realizada mediante programação anual de compra da energia elétrica de cada produtor, de forma que as referidas fontes atendam o mínimo de 15% do incremento anual da energia elétrica a ser fornecida ao mercado consumidor nacional. Nesta fase do programa, mais uma vez, os contratos de longo prazo seriam assegurados por 20 anos entre a Eletrobrás e os produtores independentes de energia (PRESIDÊNCIA, 2011).

No entanto, a energia renovável ainda não conseguiu superar críticas que a perseguem há anos: ela continua cara demais para concorrer diretamente com os combustíveis fósseis e depende demais de subsídios governamentais. E a maioria das fontes de energia renovável enfrenta outro grande desafio: boa parte delas é intermitente e ainda não surgiram os avanços tecnológicos que podem torná-la uma provedora de energia confiável e em tempo integral (GOLD, 2011).

Para exemplificar, as energias solar e eólica, as mais conhecidas e utilizadas no Nordeste, devem ser vistas como complementares, uma vez que são energias que dependem de forças da natureza que não podemos controlar. Os ventos no primeiro semestre do ano de 2011, por exemplo, registraram baixa velocidade, o que causa variação na produção de energia eólica (SALVI, 2011).

Nesse contexto, o leilão de contratação de energia elétrica, previsto para 2014, chamado de A-3, vai dar destaque para a participação de usinas termelétricas a gás, além das fontes renováveis, que são a prioridade do governo, com as hidrelétricas, as eólicas e as usinas de biomassa. De acordo com o presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Maurício Tolmasquim, é uma forma de dar maior confiabilidade ao sistema, sem a dependência tão forte de fenômenos naturais (ENNES, 2011). Neste sentido, o trabalho de Lucena *et al.* (2009) concluiu que o suprimento de algumas fontes renováveis de energia, como a produção de biocombustíveis e a geração de eletricidade, é vulnerável às mudanças climáticas globais, podendo-se estender os resultados para fontes eólicas. Neste último caso, são necessárias mais pesquisas.

O presidente da EPE destacou, ainda, que, entre as fontes fósseis, o gás é aquela que menos polui e, explicou que, sem poder construir mais reservatórios (nas hidrelétricas), é preciso ter no sistema alguma fonte de energia de que se possa ter algum controle (ENNES, 2011). Considerando isso, se não chover, não ventar ou a safra for ruim, é necessário ter a opção de ligar uma térmica, por exemplo, sem depender de eventos naturais.

Com relação ao preço da energia renovável, Brice Lalonde, coordenador-executivo do evento Rio+20, conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável, que foi realizada no Brasil em junho de 2012, acredita que é preciso uma grande coalizão para reduzi-lo. Os organizadores da cúpula dizem acreditar que a transferência de tecnologia e os investimentos internacionais podem facilitar a difusão de energias alternativas mais limpas, permitindo que sejam adotadas por um número maior de países (AE, 2011).

Apesar de todos os entraves, de acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012a), a capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional deve evoluir dos cerca de 116.498 MW em dezembro de 2011 para 182.408 MW em dezembro de 2021, com a priorização das fontes renováveis (hidráulica, eólica e biomassa), cuja participação se manterá em torno de 83% ao final do decênio. Deve-se destacar, ainda, que a geração oriunda de fontes alternativas, como a de usinas eólicas, biomassa e de PCHs, vai praticamente triplicar – de 13,7 mil MW em 2011 para 36 mil MW dez anos depois. A participação destas três fontes evoluirá de 11,8% na capacidade instalada em 2011 para 19,8% em 2021.

O que poderá impulsionar ainda mais as fontes renováveis, como solar e eólica, é a adoção gradual das redes inteligentes ("*smart grids*", em inglês), que aos poucos vêm sendo implementados. Os medidores inteligentes são condição básica para a geração distribuída solar, porque os aparelhos permitem saber se o cliente está consumindo ou se está exportando para a rede. Neste contexto, as redes inteligentes deverão estimular a microgeração de energia e o avanço de fontes renováveis nos grandes centros. O cliente residencial pode ter painéis solares instalados em sua casa e até vender parte dessa energia à rede ou abater parte de sua conta com esse crédito.

A ideia de implantação de um *smart grid* envolve, primeiramente, a troca do medidor de energia convencional (analógico) por um mais inteligente (digital), capaz de promover um maior controle por parte da geradora de energia e do consumidor. A tendência é a de que estes novos medidores tenham *chips* e sejam conectados à internet para transmitir dados.

Ao contrário da medição manual de energia atualmente realizada pelas empresas do setor, o sistema inteligente evita erros de medição e, com o monitoramento em tempo real, permite detectar mais rapidamente eventuais pontos de interrupção no fornecimento de energia.

O objetivo dessa rede inteligente, em linhas gerais, é integrar os setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, possibilitando seu controle e monitoramento de maneira remota. Desta forma, uma das vantagens desta rede é que quando um nó do sistema sofrer uma pane, a rede inteligente será capaz de evitar apagões generalizados ao mudar o caminho por onde circula a energia (*self-heals*). Em vez da dependência de grandes usinas que abastecem a rede toda, o *smart grid* poderá, ao longo do caminho, usar pequenas usinas, abrindo mais espaço para energia eólica, solar e hidroelétrica. Tal flexibilidade tende a também facilitar o uso variado da energia, como para o abastecimento de veículos híbridos, movidos à gasolina e baterias.

Atualmente, o mercado de energia brasileiro é baseado, predominantemente, na geração centralizada, com a energia eólica ganhando destaque nos leilões. No entanto, Melo (2012) destaca que, diante dos benefícios aos agentes que atuam no segmento de energia, o interesse em redes inteligentes tem crescido rapidamente no Brasil. A partir deste conceito, as distribuidoras de energia já começaram a colocar em prática o conceito global de *smart grid* em pequenos projetos piloto pelo país. Entre as cidades que estão recebendo estes projetos pilotos estão: Aparecida do Norte (SP), Parintins (AM), Sete Lagoas (MG) e Búzios (RJ).

Até 2020, de acordo com a reportagem do Jornal da Energia, de 02 de julho de 2012, é projetado que o País atravessasse a fase inicial de implementação de *smart grid*, investindo em *smart metering*. Na fase inicial, é esperada uma reforma tarifária para os consumidores do setor cativo, onde serão criadas tarifas diferenciadas para os horários de pico de consumo de energia elétrica.

Em uma segunda etapa, com o desenvolvimento de sistemas de geração e armazenamento de energia mais eficientes, a geração distribuída conectada à rede será viável a uma gama ampla de consumidores, alavancando o mercado de módulos fotovoltaicos – uma vez que a geração de energia elétrica através de painéis solares instalados em telhados residenciais será cada vez mais comum (JORNAL DA ENERGIA, 2012).

Por fim, segundo a reportagem, em longo prazo, como uma última etapa de implementação, carros elétricos poderão ser uma realidade em grandes cidades como São Paulo ou Rio de Janeiro. Atualmente, os maiores entraves à expansão deste mercado são a infraestrutura da rede de energia para abastecimento, assim como o preço destes veículos,

devido ao custo elevado do sistema de armazenamento de energia. Com o desenvolvimento de tecnologias de baterias mais eficientes, é esperado uma diminuição nestes valores.

Portanto, de acordo com Freire *et al.* (2011), uma vez que o *smart grid* permite a integração de toda a rede, da geração ao consumidor final, ele possibilita a integração dos seguintes benefícios:

- a) Informação de geração e consumo, monitorando e controlando sistemas em tempo real;
- b) Melhoria da qualidade de energia e redução da interrupção do fornecimento energético;
- c) Redução de perdas técnicas e comerciais;
- d) Gestão mais eficaz do consumo e da otimização do sistema de abastecimento (eficiência energética);
- e) Utilização de medidores inteligentes e aplicação de tarifas diferenciadas em determinados períodos para incentivar, por exemplo, o consumo em períodos de tarifa mais baixa, promovendo a otimização de custos;
- f) Surgimento de novos produtos e serviços mais eficientes e inteligentes para os consumidores de baixa tensão (residencial e industrial);
- g) Investimentos em tecnologia de geração e armazenamento com menor impacto ambiental. Alternativa de geração descentralizada em pequena escala (painéis solares e minis turbinas eólicas) para o centro de carga fornecer com baixo custo de transmissão;
- h) A participação mais ativa dos consumidores;
- i) Um mercado de energia elétrica mais dinâmico, com a expansão das atividades relacionadas à comercialização de energia através da venda da geração excedente por parte dos consumidores à rede de distribuição.

Com relação ao último item, Freire *et al.* (2011) afirma que o desenvolvimento de *smart grids* no Brasil pode definir um novo marco para a indústria elétrica e tornar o mercado de energia mais dinâmico por meio de novas formas de ações dos pequenos agentes do mercado, que inclui a oportunidade de usuários operar tanto como produtores, como consumidores de energia. Deste modo, é possível verificar que, entre os diversos benefícios, os *smart grids* torna mais acessível e competitiva a geração descentralizada a partir de fontes renováveis, contribuindo para incentivá-las.

Entretanto, deve ser enfatizado que a política governamental é a base principal, que vai apoiar o desenvolvimento do programa, com definição de orientações. Estas políticas

devem estabelecer harmonia e alinhamento entre regulação, infraestrutura e mercado (FREIRE *et al.*, 2011).

Considerando o cenário apresentado, a seguir, serão discutidas as diversas fontes renováveis de energia.

Energia eólica

Com a meta de ampliar ainda mais o percentual de fontes limpas na matriz, o governo aposta no crescimento do setor de energia eólica nos próximos dez anos. A meta do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) é que até 2021, a participação da energia eólica na matriz suba de 1% (participação atual) para 9%, enquanto a oferta de energia hidráulica diminua de 72% para 64% (EPE, 2012a). De acordo com o BEN (2012), já foi registrado um aumento de 24,3% na participação da energia eólica na matriz energética brasileira entre 2010 e 2011.

Atualmente, o Brasil ocupa a liderança do mercado de energia eólica na América Latina, segundo apontaram os números apresentados no Comitê Latino-Americano do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC) durante encontro realizado no México. O país foi responsável por 50% das instalações efetuadas na América Latina em 2011 e, também, se destaca quanto à capacidade total investida em energia eólica (AGÊNCIA AMBIENTE ENERGIA, 2012).

O aumento de geração desta fonte energética é resultado, em certa medida, dos incentivos regulatórios proporcionados a este tipo de fonte, e impulsionado por conta dos últimos leilões de energia promovidos pelo MME, objetivando o planejamento energético federal (IPEA, 2010). Porém, o jornal Diário do Nordeste (2011) salienta que, se houvesse ainda mais incentivos públicos, somados a menores custos para instalação das torres e do sistema de distribuição, o potencial nacional para energia eólica poderia ser maior.

Uma das exigências impostas pelo governo aos fabricantes, é que estes precisam produzir no país os três componentes: torre, máquina e pás. Os fabricantes que não cumprem com os índices de nacionalização nessas três etapas são excluídos das linhas de financiamento do BNDES. A mesma exigência não existem para os outros setores (FACCHINI, 2013).

Em contrapartida, a Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica) destaca que os custos de geração, como a instalação e a compra de equipamentos, diminuíram, devido à procura dos últimos anos por fontes de energia mais limpa. Este aumento da procura por energia eólica, e a consequente redução dos custos, tornou a alternativa mais competitiva e, também, contribuiu para o aumento de geração desta fonte de energia (JORNAL DO BRASIL, 2011). Neste sentido, Burda, Baltazar e Bernardo (2011), em seu trabalho, confirmam que desenvolvimentos tecnológicos recentes nesta área (sistemas de transmissão avançados, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.) têm reduzido os custos, que eram os maiores obstáculos para o uso comercial da energia eólica; e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos.

Outro aspecto a ser destacado, segundo o presidente da Abeeólica, Ricardo Simões, é que diversos fabricantes estrangeiros de equipamentos começam a se instalar no Brasil, o que, também, permitirá uma maior redução gradual dos custos do setor, sendo que a tendência é de os preços caírem cada vez mais (EXTRA ONLINE, 2011).

Além disso, vale destacar, ainda, os investimentos, que devem ser realizados com a implementação dos conceitos de *smart grids*, em tecnologias de geração e armazenamento com menores impactos ambientais, que, conforme já comentado, devem beneficiar, também, a energia eólica.

Nos leilões realizados nos dias 17 e 18 de agosto de 2011, o custo da energia eólica no Brasil já se apresentou menor do que o da energia elétrica obtida em termelétricas a gás natural. Os valores por MWh (megawatt-hora) oscilaram entre R\$ 99,54 e R\$ 99,57 (a térmica a gás, em geral, está acima de R\$ 120). Em leilões anteriores, o preço da eólica estava acima de R\$ 130 o MWh. Antes do ano de 2011, o valor passava de R\$ 200 por megawatt-hora (FOLHA, 2011). De acordo com Tolmasquim, a energia eólica vai reduzir a operação das usinas térmicas a gás natural que são acionadas de forma complementar às hidrelétricas (EXTRA ONLINE, 2011).

No entanto, vale ressaltar que, apesar de todo o avanço das fontes eólicas, de acordo com Perreli, diretor executivo da Abeeólica, é necessário ter hidrelétricas porque na época de mais chuva, é quando venta menos. E quando os rios estão mais vazios, é quando venta mais (JORNAL DO BRASIL, 2011).

A maior preocupação em relação à geração de energia eólica é que sem vento, uma turbina eólica deixa de gerar energia repentinamente, risco que não existe com as termelétricas, que queimam gás, biomassa ou carvão de forma contínua. Mesmo com escassez

de chuvas, uma hidrelétrica também não para de produzir energia abruptamente (FACCHINI, 2013).

Porém, salienta-se que o impacto da instalação de uma usina eólica pode ser menor dentro de um terreno do que o de uma grande hidrelétrica, apontada também como uma fonte de energia limpa e renovável (JORNAL DO BRASIL, 2011).

Energia solar

Na contramão do bom desenvolvimento da fonte eólica, a participação da fonte solar na matriz elétrica brasileira é bastante desprezível, não chegando a 0,1%. Certamente, o custo é o principal impeditivo para o alastramento deste tipo de tecnologia. Devido ao incipiente estágio de desenvolvimento e sua produção em escala não industrial, ele não é atrativo de um ponto de vista estritamente econômico (IPEA, 2010).

Hoje, o megawatt/hora de origem fotovoltaica custa pelo menos R\$ 300, bem mais do que a mesma quantidade de energia proveniente de parques eólicos, vendida por cerca de R\$ 100, e de usinas hidrelétricas, que fica um pouco abaixo deste patamar (SCHELLER, 2012). Porém, assim como a energia eólica, a solar é menos agressiva ao meio ambiente, pois não emite poluente, é uma fonte energética renovável e existe em abundância no Brasil.

Logo, se a forma tradicional de avaliação de energia considerar os custos ambientais das fontes convencionais e a vantagem das fontes alternativas renováveis ao meio ambiente, certamente, esse quadro seria modificado (IPEA, 2010). Diferente da energia eólica, a solar possui uma produção mais estável e previsível, mesmo com o céu nublado, porém não produz nada durante a noite (HATTENBERGER, 2011).

A energia solar pode ser captada de forma indireta através de usinas em grandes áreas de captação ou como acontece em Israel, onde 70% das residências possuem coletores solares. No Brasil, o uso residencial ainda está mais focado no aquecimento de água. A possibilidade de integrar painéis solares à paisagem com edificações e obras públicas permite a geração de energia próxima ou até no mesmo local de consumo, reduzindo consideravelmente as perdas na transmissão e distribuição e a dependência energética. Com os sistemas atuais, uma família média que possui um sistema solar com armazenamento de

energia e painéis de dimensão suficiente só teria que recorrer a fontes externas de energia elétrica em algumas horas por semana (HATTENBERGER, 2011).

Além disso, com as novas resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), publicadas em 2012, os consumidores que instalarem painéis solares em suas casas ou condomínios podem não apenas reduzir a quantidade de energia comprada das distribuidoras, como também vender o excedente da energia produzida para essas empresas. A resolução normativa nº 482, publicada em 17 de abril de 2012, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

De acordo com Burda, Baltazar e Bernardo (2011), há vários projetos em curso e em operação, para o uso de energia solar no Brasil, particularmente por meio de sistemas de células fotovoltaicas de geração de energia, com o objetivo de atender comunidades isoladas da rede de energia e do desenvolvimento regional. Um bom exemplo é a utilização de painéis solares para atendimento a comunidades rurais e isoladas, do Programa Luz para Todos, do Governo Federal. Vale destacar que Pereira, Freitas e Silva (2011) concluíram, em seu trabalho, que os esforços do governo para combater a pobreza energética por meio de programas que levam eletricidade às áreas rurais são eficientes. Prover acesso à energia é, portanto, um componente apropriado das estratégias para reduzir a desigualdade e melhorar a qualidade de vida destas pessoas.

Além disso, de acordo com o relatório divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012b), do Ministério de Minas e Energia, diferentemente da produção de energia solar em grande escala (geração centralizada) que, como comentado, ainda é inviável, mesmo com incentivos fiscais; a produção residencial de energia solar (geração distribuída) já é economicamente viável para alguns pontos da rede elétrica.

Vale salientar, ainda, que esse mercado potencial pode crescer bastante se forem concedidos incentivos como o financiamento à compra dos painéis e conversores fotovoltaicos (equipamentos que transformam a luz do sol em energia elétrica), a isenção fiscal para a produção desses equipamentos no país e a redução do Imposto de Renda para os consumidores (EPE, 2012b).

Porém, de acordo com o IPEA (2010), as ações em termos de políticas públicas nesse sentido ainda são diminutas, não alterando o cenário, significativamente. Freitas, Dantas e Iizuka (2012), em sua pesquisa, afirmam que a principal diferença entre os países desenvolvidos e os BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), grupo do qual o Brasil faz parte, com relação a capacidade instalada baseada em energias renováveis

modernas, refere-se à primazia dos países desenvolvidos em estabelecer a capacidade de usar fontes solares fotovoltaicas (rede conectada).

De fato, no Brasil, a energia solar encontra-se muito distribuída, além de apresentar problemas relacionados à estocagem. No entanto, vale ressaltar que, da mesma forma que a geração eólica, a energia solar, também, deve ser impulsionada com a implementação dos conceitos de *smart grid*, por meio do desenvolvimento de sistemas de geração e estocagem mais eficientes, tornando viável a geração distribuída conectada à rede, desta fonte de energia.

Somado a isso, notícias mostram que a mais cara entre as principais fontes alternativas começa a receber incentivos no país para que o seu potencial, finalmente, possa ser retirado do papel.

O primeiro movimento para tentar abaixar o custo da energia solar acontece no Ceará, onde o governo local criou um fundo de incentivo a este tipo de energia. Este fundo consiste em garantir a compra da energia e criar demanda para que produtores de equipamentos se instalem na região. O governo garantirá, por meio do mercado livre, a compra da energia solar pelo período de um a dois anos. A energia comprada será direcionada para prédios públicos e as indústrias serão incentivadas, com entrega de selos de sustentabilidade a quem adquirir energia gerada a partir da luz do Sol. O governo cearense estuda, ainda, conceder incentivos fiscais a quem adquirir essa energia alternativa (FOLHA, 2011).

Também, é importante destacar os estádios da Copa do Mundo de 2014 que terão painéis solares, entre eles estão: Maracanã (RJ), Mané Garrincha (DF), Arena Pernambuco (PE) e Itaquerao (SP), cujos contratos começam a ser disputados pelos fornecedores.

Além disso, de acordo com reportagem do Valor (2012), os incentivos concedidos pela Agência Nacional de Energia (Aneel), além da queda de 70% nos preços dos painéis ao longo dos últimos anos, viabilizam o investimento em novos projetos.

A Aneel vem efetuando ações e estudando propostas para diminuição de barreiras de acesso aos sistemas de distribuição por parte dos pequenos geradores. Este processo contou com a publicação da Resolução Normativa nº 481, de 17/04/2012, pela qual ficou estipulado, para a fonte solar com potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição menor ou igual a 30 MW, o desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação até o dia 31/12/2012, aplicável nos 10 primeiros anos de operação da

usina, nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão (TUST) e distribuição (TUSD), sendo este desconto reduzido para 50% após o décimo ano de operação da usina (EPE, 2012b).

Já os custos dos painéis caíram 70% nos últimos anos com os ganhos de escala, o avanço na China e crise na Europa. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), os painéis solares fotovoltaicos custavam, no ano 2000, € 4,2 por watt-pico (Wp) - unidade que mede a potência de equipamentos. Esse preço caiu para € 1,2 o Wp em 2011. No Brasil, o custo da instalação do painel é de R\$ 15/Wp, com previsão de queda entre 30% e 40% nos próximos anos. Além da redução do custo, a eficiência dos painéis, também, deve aumentar (VALOR, 2012).

Pequenas Centrais Hidrelétricas

Uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) se caracteriza por uma potência que varia entre 1 a 30 MW. O reservatório pode chegar a 13 km², de acordo com a relação entre a potência e a queda d'água, conforme Resolução da Aneel nº 652/2003 (ANEEL, 2011).

Tiago Filho *et al.* (2011) destaca, em seu trabalho sobre a análise das políticas das PCHs brasileiras e seu cenário de regulação, que as PCHs têm forte apelo social no que diz respeito à criação de empregos e geração de renda. A implementação de uma PCH cria expectativas na comunidade local. Inicialmente, estas expectativas podem ser negativas, resultante das expropriações de terra e da interferência em projetos de atração turística da região. No entanto, devido ao número de empregos gerados durante a fase de construção destes projetos e às restrições impostas por órgãos ambientais, estas questões são frequentemente, superadas.

No entanto, Tiago Filho *et al.* (2011) ressalta que um esforço coletivo, ainda, é necessário, a favor de todos os envolvidos na cadeia de produção, para procurar programas com o objetivo de aumentar a conscientização entre os diferentes setores da sociedade e as agências reguladoras, a fim de focar o processo de tomada de decisões sobre o atendimento de demandas de mercado a partir de um ponto de vista ambiental, bem como de perspectivas sociais, econômicas e de mercado.

Entre outras vantagens, pode-se citar, ainda, que a construção de uma PCH leva em média dois anos, contra os cinco de uma hidrelétrica maior. Como são necessárias pequenas áreas inundadas para a sua instalação, há impactos ambientais menores. Além disso,

as PCHs permitem a geração de energia em regiões isoladas e a estabilização de tensão em redes. Em alguns empreendimentos não é necessária a licença prévia, desde que a Aneel entenda que o impacto ambiental é pequeno. A única exigência fica para a licença de operação (FALCÃO, 2011).

Para estimular a instalação dessas centrais, a política governamental prevê uma série de benefícios. Dentre eles, de acordo com Falcão (2011), está a autorização sem ônus para exploração do potencial hidráulico, descontos de no mínimo 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição e isenção da compensação financeira pelo uso da água para geração de energia.

Entre 2003 e 2010, a energia gerada pelas PCHs cresceu cerca de três vezes. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a potência desses empreendimentos passou de 1.151 MW para 3.428,31 MW no ano de 2010. O número de usinas subiu de 241 para 387 empreendimentos. Com isso, a participação das PCHs na matriz energética aumentou de 1,34% para 3,03% no mesmo período (ANEEL, 2011). De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 (EPE, 2012a), é esperado que a capacidade instalada das PCHs aumente para cerca de 7 GW, em 2021.

Biomassa

Da mesma forma que as PCH, a utilização da biomassa para fins energéticos, também, vem apresentando perspectivas de crescimento. Com relação a isso, Sommerville (2005) e Goldemberg (2009, p. 584) comentam em suas pesquisas sobre o enorme potencial teórico da energia da biomassa.

Dos aproximadamente 100.000 Terawatts de fluxo de energia solar que atingem a superfície da Terra, cerca de 4.000 Terawatts atingem os 1,5 bilhões de hectares de plantações existentes no mundo. Admitindo que as tecnologias de biomassa moderna possam atingir uma eficiência da conversão energética de 1%, essas plantações poderiam, em teoria, produzir 40 Terawatts de fluxo de energia, ou mais de 3 vezes o atual fluxo de abastecimento global de energia primária de 14 Terawatts. Essa comparação não tem a intenção de sugerir que todas as terras cultiváveis deveriam ser usadas para a produção de energia, mas somente para ilustrar que há espaço para uma expansão significativa da contribuição energética da biomassa moderna (GOLDEMBERG, 2009, p. 584).

Goldemberg (2009) ainda aponta que deve ser crucial, em qualquer expansão em larga escala da produção de biomassa, o gerenciamento das demandas competitivas da produção de alimentos e preservação do meio ambiente. Em áreas onde a base dos recursos é

suficiente para sustentar a produção de alimentos e energia, ou em casos onde é possível fazer uso complementar das mesmas matérias-primas (por exemplo, usar resíduos de produção de alimentos para produção de energia), as restrições ao uso de terra podem não ser um problema grave. Entretanto, o potencial de alguns lugares para a produção de energia, mas com necessidade de deslocamento da produção de alimentos, pode gerar preocupações – especialmente se a produção de alimentos serve a população local, enquanto a produção de energia é prioritariamente para a exportação.

Apesar destas possíveis preocupações, a biomassa é considerada, tanto no mercado interno como no externo, uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Com relação ao Brasil, o uso deste energético tem sido crescente, principalmente, em sistemas de cogeração (pelo qual é possível obter energia térmica e elétrica) dos setores industriais e de serviços (ANEEL, 2008).

A utilização da biomassa, no Brasil, é resultado de um conjunto de fatores, incluindo a disponibilidade de recursos de mão de obra barata, rápida urbanização e industrialização e a experiência histórica com aplicações industriais dessa fonte de energia em grande escala. A aplicação das tecnologias de energia de biomassa é uma das características particulares do país. Como exemplo é possível citar, além da produção de biocombustíveis, como o etanol a partir da cana-de-açúcar e o biodiesel, a cogeração de eletricidade do bagaço de cana, o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose (cascas e resíduos de árvores, serragem, licor negro, etc.) e o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos (LUNCON; GOLDEMBERG, 2007).

As condições naturais e geográficas favoráveis do Brasil justificam o entendimento de que o País reúne vantagens comparativas expressivas para assumir posição de destaque, no plano mundial, na produção e uso da biomassa como recurso energético (PNMC, 2008).

Portanto, uma importante diretriz política governamental, de acordo com o relatório Matriz Energética Nacional 2030 (MME, 2007), deve ser no sentido do Brasil procurar assumir a liderança internacional na formação de um mercado de bioenergia, respeitados os acordos já assinados na área ambiental e seus desdobramentos econômicos, como o mercado de carbono.

De acordo com o MME (2007), as demais diretrizes gerais da política de agroenergia, estabelecidas pelo MME em conjunto com o Ministério da Agricultura e

Abastecimento, o Ministério da Ciência e Tecnologia e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Buscar o desenvolvimento constante da agroenergia;
- Evitar que esse desenvolvimento afete negativamente a produção de alimentos e desmatamento, além de outros impactos negativos indiretos, tais como a poluição por agrotóxicos;
- Encorajar o desenvolvimento tecnológico nessa área;
- Propiciar às comunidades isoladas a produção própria de energia;
- Constituir-se em vetor de geração de emprego e renda, com fixação do homem na terra;
- Respeitar a sustentabilidade dos sistemas produtivos;
- Incentivar a agroenergia onde há disponibilidade de solo, radiação solar e mão de obra;
- Segurança energética (diversificação);
- Os programas de agroenergia deverão ser aderentes à política ambiental brasileira e em perfeita integração com as disposições do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, aumentando a utilização de fontes renováveis, com menor emissão de gás do efeito estufa no seu ciclo de vida e contribuindo com a mitigação desse efeito por meio do sequestro de carbono.

Neste contexto, a utilização de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, trazem uma série de benefícios associados à redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), de material particulado (MP), de óxido de enxofre (SO_x), de compostos orgânicos voláteis (COVs) e de grande parte dos hidrocarbonetos tóxicos, quando comparados aos combustíveis de origem fóssil.

Com relação ao etanol, grande parte do sucesso do álcool se deve ao PROÁLCOOL - Programa Brasileiro de Álcool – que foi lançado, pelo Decreto nº 76.593, com o intuito de incentivar o aumento da produção de etanol como substituto para a gasolina. O balanço final é altamente positivo com relação às emissões de gases de efeito estufa, em função do processo de fotossíntese, em que a cana-de-açúcar absorve a mesma quantidade de dióxido de carbono, que é emitida durante a queima do álcool e do bagaço (PNMC, 2008).

A motivação principal para o Programa foi o primeiro choque de preços do petróleo no mundo, em outubro de 1973, e a necessidade de aproveitar a ociosidade do parque industrial sucroalcooleiro. A segunda fase (1979-1985) ocorreu através da implantação de destilarias autônomas e terminou com a falta de álcool hidratado nas bombas dos postos

combustíveis. Nesse período o PROÁLCOOL atingiu o auge, com a estruturação de uma rede de incentivos fiscais e financeiros. Na terceira fase (1990-1999) predominou um padrão de preços baixos do petróleo no mercado internacional, desestruturação do sistema de apoio e continuidade parcial do processo intervencionista governamental na produção e nos mercados dos produtos setoriais, o que culminou no excesso de produção de etanol e em queda dos preços. A quarta fase, a partir de 2000, iniciou-se com a renovação do PROÁLCOOL, principalmente, através de ações corporativas, marcada pela liberação de preços dos produtos setoriais, introdução dos veículos *flex fuel*, possibilidades de aumento nas exportações de etanol e patamares de preços elevados de petróleo no mercado mundial (VEIGA FILHO; RAMOS, 2006).

Vale destacar que as perspectivas favoráveis para a expansão do álcool se devem, não só por causa dos benefícios ambientais da mistura álcool/gasolina, em termos da valorização crescente de reduções na poluição do ar, sobretudo nas grandes cidades, mas, também, por conta das boas perspectivas para uma rápida difusão de veículos “multicombustível” e o “*flex fuel*” (MME 2030, 2007).

É importante considerar, ainda que, o PROÁLCOOL oficial já foi extinto, uma vez que o uso do etanol tornou-se impulsionado pelas forças do mercado, mas é importante lembrar que o arranque do Programa nos anos setenta foi fortemente baseado em políticas públicas, destinadas a fomentar a produção de etanol. O financiamento público atingiu até 90% do investimento necessário para construir uma nova destilaria e até 100% do investimento necessário para aumentar a área de cana cultivada. Entre as condições, que eram, em geral, extremamente favoráveis para o produtor, podemos destacar: taxas de juros negativas, 3 anos de carência e 12 anos para pagar o empréstimo. Além disso, o governo estabeleceu os preços mínimos do etanol, que eram mais atraentes, visto o preço do açúcar. Esta política representou um enorme subsídio à cana de açúcar e aos produtores de etanol (LA ROVERE; PEREIRA; SIMÕES, 2011).

No entanto, é importante destacar que, segundo La Rovere, Pereira e Simões (2011), apesar dos subsídios públicos, agora eliminados, terem sido fundamentais para o sucesso do programa PROÁLCOOL na sua fase inicial, o mesmo teria sido em vão se o setor subsidiado não tivesse investido em P&D, visando crescimento produtivo e progresso técnico. Tais investimentos se refletiram nas lavouras de cana, no processamento de cana de açúcar e na produção de carros a álcool e *flex fuel*.

Além do álcool, como mencionado, há, ainda, outras três vertentes da agroenergia: as florestas energéticas cultivadas, os resíduos agroflorestais e o biodiesel. A

experiência exitosa do álcool encoraja a pensar-se em ampliar a utilização desses outros energéticos, que permitem a associação com políticas de cunho social, ambiental e econômico.

No que concerne ao Biodiesel, as diretrizes políticas são no sentido de garantir primeiramente o suprimento interno, favorecer os investimentos por parte da iniciativa privada e comprometer-se com a liberdade de formação de preços na cadeia produtiva (MME, 2007).

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, da produção e uso do Biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda (MME, 2011). A partir da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, estabeleceu-se a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório é de 5% oito anos após a publicação da referida lei, havendo um percentual obrigatório intermediário de 2% três anos após a publicação da mesma (PRESIDÊNCIA, 2011).

A mistura de biodiesel ao óleo diesel, segundo La Rovere, Pereira e Simões (2011), pode reduzir significativamente as emissões de poluentes atmosféricos nas grandes cidades, principalmente as emissões de enxofre. Em termos globais, a sua utilização ajuda a travar o aumento do efeito estufa, que pode ter fortes efeitos positivos em escala global.

Deste modo, de acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012a), a projeção da demanda de biodiesel se refere basicamente à adição obrigatória de 5% no diesel mineral. Logo, espera-se que a demanda obrigatória nacional de biodiesel aumente de 2,8 bilhões de litros para 4,0 bilhões de litros entre 2012 e 2021.

Além do PNPB, também, é importante mencionar o regime de taxação especial para produtores e importadores de biodiesel, no Brasil. Os produtores e importadores têm dois diferentes programas relacionados ao Programa de Integração Social (PIS) e à Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). Ambos os programas oferecem reduções significativas destas taxações para apoiar o desenvolvimento da indústria de biodiesel (KPMG, 2011).

Já os agro-resíduos representam um grande potencial considerando o aumento significativo da produção agrícola e, conseqüentemente, dos seus resíduos. Estes resíduos, por exemplo, bagaço de cana e de frutas, folhagem de cana, milho e outros grãos, restos de frigoríficos e de indústrias alimentícias, têm um valor econômico pequeno apesar do seu

poder energético considerável para queima, fermentação e/ou gaseificação. Estima-se que existe um volume disponível e aproveitável de mais de 300 milhões de toneladas por ano, representando um conteúdo energético de, aproximadamente, 5.000 MW como fonte não explorada de combustíveis e/ou de energia elétrica (MOERI, 2011). Este valor se aproxima da potência que a usina hidrelétrica de Belo Monte deve efetivamente produzir, que é de 4.571 MW, em média, ao longo do ano.

Com relação à produção do bagaço da cana-de-açúcar é representativa no contexto brasileiro, uma vez que o país é o principal produtor de cana-de-açúcar e o setor sucroalcooleiro nacional é um dos mais eficientes do mundo. Segundo o PDE 2021 (EPE, 2012a), na safra 2011/2012, a área colhida para o setor sucroalcooleiro foi de 8,37 milhões de hectares, com uma produção total de 571,4 Mt de cana, sendo que cerca de 50% foram destinados para a produção de etanol e o restante para a produção de açúcar.

O bagaço da cana é o resíduo sólido que remanesce da moagem da cana-de-açúcar nas usinas de açúcar e destilarias de álcool etílico no país. De um modo geral, o material genético em uso no país apresenta um teor aproximado de 270 a 290 kg de bagaço em cada tonelada de cana processada. Em decorrência do seu grande potencial energético, o bagaço é utilizado principalmente para o autoconsumo das usinas do setor sucroenergético, gerando energia térmica e elétrica para a produção de açúcar e etanol (EPE, 2012a).

O funcionamento de uma unidade de produção sucroalcooleira requer o uso de três tipos de energia: térmica, utilizada no cozimento do açúcar e/ou na destilação do álcool etílico; mecânica, utilizada, na maior parte das unidades para mover as moendas que, por um processo de desfibramento e compressão, retiram o caldo da cana, a sacarose nele presente; e a energia elétrica para a iluminação, funcionamento dos motores e bombas d'água que movimentam todo o sistema fabril. A consecução desses três tipos de energia é feita por meio da queima do bagaço em fornalhas que aquecem as caldeiras para a produção de vapor, em quantidade necessária para fazer funcionar o complexo industrial (CONAB, 2011).

Vale mencionar, ainda, que o excedente de eletricidade advinda desta fonte renovável pode ser comercializado para o Sistema Interligado Nacional (SIN). No entanto, ainda é pequena a contribuição do bagaço na venda de energia elétrica no Brasil (EPE, 2012a).

Em seu trabalho, La Rovere; Pereira e Simões (2011) pontuam que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), sob o Protocolo de Quioto, vem estimulando os produtores de etanol, no Brasil, a aumentar e melhorar a utilização do bagaço como uma fonte de energia. Como comentado, o bagaço já foi utilizado para produzir o calor e a força

necessária no processo de transformação de cana-de-açúcar. No entanto, a geração de energia não é o *core business* desta indústria, e há oportunidades importantes para melhorar a eficiência energética neste processo. Os benefícios financeiros trazidos pelo MDL vêm fomentando investimentos no setor com o objetivo de melhorar a eficiência energética, como, por exemplo, substituir caldeiras antigas por plantas de cogeração e exportar o excedente de energia ao *grid*.

Neste contexto, o secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia, Altino Ventura Filho, durante seminário na Fundação Getúlio Vargas, no Rio, destacou que o uso do bagaço de cana-de-açúcar, para geração de energia elétrica, deve ter a exploração ampliada nos próximos dez anos (AGÊNCIA BRASIL, 2011). Segundo o PDE 2021 (EPE, 2012a), para atender as projeções de etanol e açúcar no período em 2021 seriam necessárias 1.155 Mt de cana-de-açúcar, resultando em 312 Mt de bagaço, o que corresponde a uma variação de 7,62% a.a. entre 2012 a 2021. O aproveitamento total do bagaço de cana produzido permitiria ofertar um valor aproximado de 10 GW médios, em 2021, correspondendo a uma potência instalada de cerca de 17 GW.

Entre suas aplicações nas indústrias, o bagaço de cana pode ser utilizado como substituto dos derivados de petróleo e lenha. De acordo com Andrade e Diniz (2007), a sua utilização como combustível reduz a necessidade de armazenamento do bagaço nas usinas de cana-de-açúcar, que apresenta problemas para a saúde dos operadores e impactos ambientais, além de, como fonte renovável, evitar emissões de poluentes. Estes autores, ainda, afirmam que por se tratar de cultura adensada, a cana promove uma conservação eficaz do solo e, mesmo depois de colhida, a palha depositada protege o solo da erosão.

Vale mencionar ainda, que, além dos benefícios ambientais, a utilização desta fonte de energia pode acarretar impactos sociais positivos, que incluem a geração de empregos, principalmente, nas zonas rurais.

Os principais impactos socioambientais negativos do uso do bagaço de cana encontram-se na produção da cana-de-açúcar. Além do grande consumo de água e de exaurir o solo em termos de nutrientes, podemos citar como impactos, de acordo com Andrade e Diniz (2007):

- Redução da biodiversidade, causada pelo desmatamento e pela implantação de monocultura;
- Contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo, por meio da prática excessiva de adubação química, corretivos minerais e aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas;

- Compactação do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas, durante o plantio, tratos culturais e colheita;
- Assoreamento de corpos d'água, devido à erosão do solo em áreas de reforma;
- Emissão de fuligem e gases de efeito estufa, na queima, ao ar livre, de palha, durante o período de colheita;
- Danos à flora e fauna, causados por incêndios descontrolados;
- Consumo intenso de óleo diesel, nas etapas de plantio, colheita e transporte;
- Concentração de terras, rendas e condições subumanas do trabalho do cortador de cana.

Vale destacar que, devido aos problemas de qualidade do ar perto das plantações, o governo do Estado de São Paulo estabeleceu, conforme previsto na Lei Estadual nº 11.241 de 2002, a eliminação gradual da queima pré-colheita até 2021 em áreas onde a mecanização é possível e até 2031 em áreas onde a mecanização não é possível (inclinação maior do que 12%). Em 2007, a indústria paulista e o governo do Estado de São Paulo assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro, antecipando os prazos para 2014 e 2017, respectivamente. Em 2010, a área colhida de forma mecanizada era estimada entre 65% e 70% na região Centro-Sul do país (NASTARI, 2010).

Além do bagaço da cana e dos demais resíduos agroflorestais, há ainda o grande potencial existente no Brasil para o desenvolvimento de florestas energéticas, cultivadas especificamente para esse fim. Diversos estudos têm sido conduzidos por instituições de pesquisa no País (por exemplo: EMBRAPA e IPT), com o objetivo de identificar biomassas com grande potencial energético, e que podem ser cultivadas de acordo com as exigências ambientais vigentes. O Ministério de Minas e Energia (MME) tem contribuído com essas pesquisas por meio de convênio com a Rede Nacional de Biomassa – RENABIO, a qual tem desenvolvido projeto de cultivo de várias espécies de eucaliptos, a fim de avaliar densidades de plantio e rotações de plantações de rápido crescimento para produção de madeira para diversos fins, inclusive o energético (PNMC, 2008).

Na visão de alguns especialistas, será preciso criar normas que definam os biocombustíveis da madeira e derivados (densificados de resíduos e capim, carvão vegetal, pó de carvão vegetal (CV), bio-óleos, etc.) para que se observe uma organização de um mercado energético, hoje completamente disforme e predatório. Segundo o PNMC (2008), 50% dessa energia têm origem em madeira nativa e é processada com baixíssima eficiência.

Enquanto indústrias de papel e celulose e alguns grandes produtores de gusa utilizam madeira e resíduos provenientes de plantações, outras indústrias utilizam madeira

nativa e tecnologias primitivas e ineficientes para produzir carvão. Deste modo, observa-se, na indústria brasileira, instalações altamente eficientes ao lado de instalações ineficientes. Embora lenha e carvão sejam fontes significativas de energia, que substituem fontes não renováveis como coque, óleo combustível e gás natural; a produção, venda e utilização de lenha e carvão não foram devidamente regulamentadas, levando em conta a eficiência potencial e os benefícios ambientais (HOLLANDA; ERBER, 2011). Deste modo, a organização do mercado, segundo o PNMC (2008), vai criar uma cadeia virtuosa de usos eficientes ao longo da cadeia de transformações, o que vai inviabilizar o uso de madeiras nativas.

Vale destacar que o consumo do carvão vegetal, em 2011, de acordo com o BEN (2012), representou apenas 2,0% do consumo final de energia do país, sendo 87% utilizados no setor industrial, 11% no residencial e 2% no comercial e no agropecuário.

No setor industrial, as produções de ferro gusa e aço e de ferros-liga respondem por aproximadamente 97% do consumo total de carvão vegetal, com uso simultâneo como agente redutor e fornecimento de energia (EPE, 2011). O Brasil é o detentor do maior e do mais tecnologicamente desenvolvido parque siderúrgico a carvão vegetal (IAB, 2010).

De acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012a), constata-se um crescimento médio anual do carvão vegetal de 7,2% entre 2011 e 2016, saltando a demanda nacional deste energético de 8,9 milhões de toneladas, em 2012, para 11,5 milhões de toneladas, em 2016. No segundo quinquênio, há um incremento mais suave do consumo, de 0,7% anuais, alcançando uma demanda total de 11,5 milhões de toneladas no país no horizonte.

Deste modo, da mesma forma que o álcool e o bagaço de cana-de-açúcar, o carvão vegetal é derivado de uma matéria-prima renovável, que tem poder de limpeza da atmosfera por meio da reação da fotossíntese. O processo ocorre durante o período de crescimento da floresta, quando as árvores de eucalipto capturam carbono da atmosfera, liberando oxigênio.

Já a lenha, na década de 70, chegou a representar 46% do consumo final de energia do país, sendo que, em 2011, respondeu por 6,6% desse consumo (BEN, 2012). Os setores que mais utilizam esse insumo energético são o residencial – principal consumidor –, seguido do industrial e do agropecuário.

No entanto, a fim de evitar o uso das matas nativas, no setor industrial, analisaram-se as possibilidades de substituição da lenha pelo gás natural, com vantagens evidentes no caso da produção de cerâmica (agregação de valor pela melhoria na qualidade do produto) e, em muitos casos, na indústria de alimentos e bebidas. Por outro lado, nos casos em

que não for interessante ou não houver possibilidades da lenha ser substituída, em detrimento à lenha proveniente de mata nativa, visualiza-se o uso de lenha oriunda de reflorestamento (EPE, 2012a). O PDE 2021 (EPE, 2012a), ainda, afirma que até 2021 a demanda por este energético no setor industrial deve crescer 3,2% ao ano entre 2011 a 2021.

Além das fontes de energias já citadas, também, é importante considerar os esforços governamentais em relação à geração termonuclear, uma vez que se apresenta como uma fonte de energia limpa, por não emitir gases do efeito estufa.

2.2.2 - Expansão da Energia Nuclear

As expectativas de expressivo aumento do consumo mundial de energia, especialmente de energia elétrica, as preocupações crescentes com a segurança energética e as pressões ambientais, sobretudo com relação às emissões de gases de efeito estufa, têm recolocado a opção nuclear na agenda dos fóruns mundiais de energia, em geral.

A energia nuclear é liberada numa reação nuclear, ou seja, em um processo de transformação de núcleos atômicos. As técnicas para se obter esta energia é por meio da fissão e da fusão nuclear. Na primeira, o núcleo atômico subdivide-se em duas ou mais partículas. Já na segunda, ao menos dois núcleos atômicos se unem para formar um novo núcleo.

De acordo com Williams (2009), o conceito da fusão nuclear consiste em fundir núcleos de deutério, produzindo átomos de hélio. Logo, como o produto desta forma de geração de energia é hélio, não resulta deste processo nenhum material radioativo prejudicial à saúde humana. No entanto, o emprego pacífico ou civil da energia de fusão está em fase de investigação e desenvolvimento, existindo incertezas com relação a sua viabilidade técnica e econômica. Uma das principais dificuldades para viabilizar este processo consiste em criar um campo magnético para começar e controlar a fusão do deutério. Logo, a fissão nuclear é, atualmente, o meio utilizado para a obtenção de energia nuclear, apesar dos resíduos radioativos resultantes.

A utilização de energia nuclear na matriz energética é fonte de grandes controvérsias entre os especialistas. Enquanto alguns defendem a erradicação das usinas nucleares, outros apontam a energia nuclear como uma das fontes de energia capaz de evitar

as mudanças climáticas, resultado do aquecimento global provocado pela emissão de gases causadores do efeito estufa.

No Brasil, a geração termonuclear teve início no final dos anos 1960. Na época, cogitava-se sobre a necessidade de complementação térmica para o suprimento de eletricidade no Rio de Janeiro. Decidiu-se então que essa complementação ocorresse por meio da construção de uma usina nuclear (Angra I) com capacidade nominal da ordem de 600 MW, na cidade de Angra dos Reis – RJ. Em junho de 1975, foi assinado com a República Federal da Alemanha o Acordo de Cooperação para o Uso Pacífico da Energia Nuclear. Em julho do mesmo ano, foi feita a aquisição das usinas de Angra II e Angra III, junto à empresa alemã Kraftwerk Union A.G. – KWU, subsidiária da Siemens (ANEEL, 2002).

De acordo com Silva e Guimarães (2010), algumas pessoas acreditam que a energia nuclear foi implementada prematuramente no Brasil, antes mesmo de uma real necessidade surgir. No entanto, a utilização da energia nuclear requer avançadas qualificações tecnológicas. Sendo assim, esta suposta introdução prematura da energia nuclear no país teve, neste caso, impactos positivos. O Brasil, agora, possui a capacidade necessária que permite uma expansão rápida e eficiente da energia nuclear, a um custo mais baixo.

Atualmente, a participação da fonte nuclear na oferta interna de energia, no Brasil, é de 2,7% (BEN, 2012). A previsão para 2030, segundo Maurício Tolmasquim, presidente da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), é que, da mesma forma que haverá um aumento de usinas hidrelétricas, a geração nuclear também crescerá. Ele entende que a energia nuclear é uma alternativa para quando o potencial hidrelétrico acabar, o que deve acontecer em 2025 ou 2030 (VALOR ECONÔMICO, 2010).

O aumento da presença da energia nuclear na cesta de geração do Sistema Interligado Nacional (SIN) é previsto no Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030, 2007). Este plano prevê um montante de 4 GW, que podem alcançar 8 GW, adicionais à Angra III, existindo um projeto para a construção de mais quatro usinas e a possibilidade de instalação de outras em todo o país. Este programa nuclear apresenta o grande diferencial de não emitir gases causadores do efeito estufa. Além disso, segundo Dias e Mattos (2010), como fonte de energia econômica, limpa e segura para a geração de eletricidade, a energia nuclear é uma energia capaz de implantação em larga escala e em curto prazo, visto o crescimento econômico brasileiro no consumo de eletricidade.

Quando se analisa em perspectiva a questão da energia no Brasil, e se examina o potencial da energia nuclear, em particular, é forçoso reconhecer que o país encontra-se, nesse caso, em uma posição bastante favorável. Com efeito, o Brasil detém uma das maiores

reservas globais de urânio, ainda que a prospecção esteja em fase incipiente. Neste contexto, vale salientar que, ao contrário dos combustíveis fósseis, o combustível nuclear (urânio), atualmente, não possui nenhum uso industrial a não ser o de geração de energia elétrica (SILVA; GUIMARÃES, 2010). Além desta vantagem, o Brasil, também, domina todo o ciclo de fabricação do combustível nuclear, ainda que algum investimento complementar seja demandado para iniciar-se o enriquecimento no país. Por fim, é signatário de todos os acordos internacionais na área nuclear, atestando o compromisso do país com o uso pacífico da energia nuclear e com a não proliferação de armas nucleares (PNE 2030, 2007).

No entanto, o desastre do dia 11 de março de 2011, no Japão, somado ao desastre ocorrido em 1986, em Chernobyl, colocou em dúvida a segurança nuclear. No Japão, a usina nuclear Fukushima deveria suportar terremotos e tsunamis. Porém, apesar de resistir a um terremoto de magnitude 8,9 na escala Richter, não suportou o tsunami na sequência, que provocou uma falha no sistema de esfriamento do reator da usina, culminando no seu superaquecimento e posterior explosão (RIGHETTI, 2011). O desastre foi classificado em nível 7, o mesmo de Chernobyl, que lançou na atmosfera uma grande quantidade de radioatividade, aproximadamente 400 vezes a quantidade liberada pela explosão nuclear de Hiroshima.

Porém, segundo o especialista David Cahen, do Instituto Weizmann, de Israel, já é possível colocar em prática a energia nuclear segura, com tecnologias de prevenção ao derretimento dos reatores e resistência a catástrofes naturais. Segundo ele, esta energia nuclear segura será necessária para compor a "bolsa mista de abastecimento" que vai suportar o consumo do planeta em 30 anos (FUSCO, 2011).

No entanto, ainda assim, os governos de diferentes países, como Alemanha, Itália e Suíça, proclamaram o fim das usinas nucleares, após o acidente de Fukushima. Na Alemanha, por exemplo, serão desligadas dezessete usinas nucleares, até 2022, conforme a deliberação da *chanceler* Ângela Merkel (DCI, 2011).

Por outro lado, outras nações, como França, Índia, Rússia e República Tcheca anunciaram publicamente, logo após o acidente, a continuidade de sua programação. Já os Estados Unidos e Inglaterra, que terminaram em maio suas primeiras revisões pós-Fukushima, não promoveram alterações em seus programas nucleares. Por sua vez, Holanda, Polônia, Arábia Saudita, Egito, Austrália, África do Sul e Paquistão divulgaram sua disposição em começar ou dar continuidade à construção de usinas nucleares. Atualmente, 64 reatores estão sendo construídos no mundo (KURAMOTO, 2011).

Segundo Kuramoto (2011), presidente da Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), tal postura justifica-se uma vez que as razões que levaram os países a optarem pela energia nuclear continuam, como, por exemplo, as preocupações com o aquecimento global, o crescimento do consumo de energia, o constante aumento do preço dos combustíveis fósseis, em virtude do decréscimo das reservas mundiais, e a instabilidade política na principal região produtora de petróleo.

Para além de questões políticas, o que de prático está sendo feito no setor nuclear em relação ao acidente de Fukushima é a elaboração de um Plano de Ação, apresentado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) em 13 de setembro de 2011, que visa aumentar a segurança das usinas nucleares (KURAMOTO, 2011).

No Brasil, inúmeros debates foram realizados sobre o tema, mas, segundo o ministro de Minas e Energia, Édison Lobão, o acidente com a usina japonesa de Fukushima, também, não deve alterar os planos do governo. Logo, o Brasil não deverá retroceder com a sua política de expansão nuclear (MAIA *et al.*, 2011).

No entanto, em sintonia com essa revisão global, o Brasil está procedendo a uma avaliação de seu programa para adequá-lo às recomendações de segurança da agência. De acordo com o presidente da Eletronuclear, Othon Luiz Pinheiro, o programa nuclear brasileiro deve passar por uma reavaliação, sem prazo de definição. O processo revisará custos, tecnologia e o impacto ambiental das quatro usinas previstas para serem construídas até 2030 (VALOR ECONÔMICO, 2011).

Além da geração nuclear e do incentivo às fontes alternativas de energia, outra maneira de reduzir os impactos ambientais e, ao mesmo tempo, diminuir os custos é por meio da intensificação da eficiência energética. Deste modo, a diretriz política geral do governo, além de inserir fontes mais limpas, respeitando o aspecto social e ambiental na produção e transporte, deve ser de manter a preocupação com a atenção e satisfação do consumidor, encorajando o uso eficiente da energia.

2.2.3 - Intensificação da Eficiência Energética

Em termos mundiais e mesmo locais, não se vislumbra redução substancial das quantidades de combustíveis fósseis atualmente utilizadas, até pelo menos meados do século, embora sua participação possa diminuir. Por outro lado, há amplas oportunidades para se

aumentar a eficiência ao longo das cadeias energéticas, desde a utilização das fontes primárias até a obtenção da energia útil (ERBER, 2011).

A importância conferida à sustentabilidade e à segurança energética enfatiza a prioridade da exploração das fontes renováveis e dos combustíveis disponíveis no território nacional, bem como o uso racional e eficiente de todas as energias. A redução das necessidades de expansão da oferta, mediante aumento da eficiência, posterga o esgotamento da oferta de energias de fontes não renováveis baratas e reduz as necessidades de investimentos em expansão da capacidade instalada, sem comprometer a capacidade dos serviços prestados. Além disso, diminui a necessidade de subsídios governamentais para a produção de energia (LUNCON; GOLDEMBERG, 2007). Diante disso, a política energética passa a envolver e exigir modificações profundas nas características da maioria dos setores da economia.

No entanto, é importante ressaltar que em países em desenvolvimento o consumo de energia per capita ainda é pequeno. De acordo com o Banco Mundial (2013), em 2010, o Brasil, por exemplo, consumiu 1,4 tep per capita, enquanto que os países da OECD consumiram 4,4 tep per capita e o mundo consumiu 1,9 tep per capita, como é possível observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de energia (kg de petróleo equivalente por pessoa)

Identificação	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
OECD	4,6	4,6	4,6	4,6	4,5	4,3	4,4
Mundo	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
Brasil	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,4

Fonte: Banco Mundial (2013)

Porém, é importante analisar a relação que existe entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o consumo de energia per capita. O IDH incorpora fatores como a expectativa de vida, nível de escolaridade, distribuição de renda, PIB per capita, taxas de pobreza e qualidade ambiental. Países com IDH próximo de zero, como República Democrática do Congo, que, em 2011, foi o último colocado, com IDH igual a 0,286, possuem baixa qualidade de vida. Já países com IDH próximo de 1 possuem qualidade de vida muito alta, como a Noruega, primeira colocada, com IDH de 0,943, em 2011 (UNDP, 2012).

A partir do Gráfico 2, é possível observar que existe uma relação direta entre IDH e consumo de energia, para o ano de 2008. No entanto, ocorre uma saturação a partir de aproximadamente 2,5 toe/pessoa, sendo que, a partir deste valor, ao aumentar o consumo de energia per capita, não há melhoria significativa em termos de qualidade de vida.

Gráfico 2 – Relação entre IDH e consumo de energia per capita

Fonte: IEA (2008)

De acordo com o relatório de Desenvolvimento Humano, de 2011, o Brasil possui um IDH de 0,718, sendo o 84º colocado. Em 2009, o IDH do país era de 0,708, com um consumo per capita de energia, segundo o Banco Mundial (2013), de 1,243 toe/pessoa. Considerando estes dados, pode-se afirmar que, para o Brasil, o aumento no consumo de energia, ainda, é indispensável para promover o desenvolvimento.

Os países desenvolvidos que compõem a OCDE são, historicamente, os maiores consumidores mundiais de energia. Porém, a participação destes países no consumo total mundial de energia tem recuado ao longo do tempo. Já nos países em desenvolvimento, a participação relativa, ainda que em alguns casos seja pouco expressiva, como na América Latina, registrou aumento acumulado superior a 100% nas últimas três décadas (ANEEL, 2008). A Figura 6 mostra os diferentes volumes de consumo de energia primária per capita nas diversas regiões do mundo no ano de 2009.

Figura 6 – Consumo per capita de energia primária em 2009 (tep)³

Fonte: BP (2010)

O estudo de Niu *et al.* (2011), realizado para avaliar a causalidade entre o consumo de energia, o crescimento do PIB e as emissões de carbono para oito países da Ásia-Pacífico, entre 1971 a 2005, usando dados em painel, concluiu que as emissões de carbono, o consumo per capita de energia e a eficiência do uso de energia nos países em desenvolvimento são muito mais baixos que o dos países desenvolvidos. Estes últimos apresentam emissões de CO₂ por unidade de consumo de energia maiores que os demais. No entanto, embora os países em desenvolvimento possam reduzir suas emissões de CO₂ por unidade de consumo energético, o consumo total de energia irá aumentar rapidamente com o desenvolvimento econômico. Desse modo, estes países devem determinar uma forma de promover o crescimento econômico enquanto conservam energia e reduzem emissões.

Todavia, deve-se ressaltar que existem países com um elevado consumo de energia per capita, porém com baixo IDH. Este é o caso, por exemplo, da Arábia Saudita e da Rússia, que apresentaram um consumo de energia per capita, em 2009, de 5,9 toe/per capita e de 4,9 toe/per capita, respectivamente (BANCO MUNDIAL, 2013). Já o IDH destes países, neste mesmo ano, foi de 0,76 para a Arábia Saudita e 0,75 para a Rússia (UNDP, 2012). Para relativizar, a Noruega, primeira colocada no IDH deste ano (0,941), apresentou um consumo per capita de energia de 5,8 toe per/capita, em 2009, segundo dados do Banco Mundial. Tal característica apresentada pela Arábia Saudita e pela Rússia pode ser justificada pela baixa

³ Compreende apenas combustíveis comercializados. São excluídos, portanto, combustíveis, tais como: resíduos de madeira, turfa e animal, que, embora importantes em muitos países, há falta de documentação em termos de estatísticas de consumo. Também estão excluídas a energia gerada a partir do vento, geração de energia geotérmica e solar (BP, 2010).

distribuição de renda, não sendo revertido para a população, em qualidade de vida, os benefícios e avanços alcançados por meio do maior consumo energético.

Logo, é importante atentar-se para estes exemplos, de modo a evitá-los, já que as perspectivas são de que a distância entre o consumo de energia per capita do Brasil e dos países desenvolvidos se reduza, à medida que o Brasil avance em termos de desenvolvimento econômico. Os dados do Balanço Energético Nacional, BEN (2012), confirmam o aumento no consumo de energia, no Brasil, a partir de uma série histórica constante, relativa ao período de 1970 a 2011, que mostra que a tendência geral do Brasil tem sido de expansão do consumo global de energia. De 1990 a 2008, por exemplo, a expansão acumulada foi de 77%, com o consumo total passando de 127,596 milhões de tep para 226,393 milhões de tep.

Nem mesmo em 2001, ano marcado pelo racionamento de energia elétrica, o consumo global de energia registrou recuo: passou de 171,949 milhões de tep para 172,186 milhões de tep (aumento de 0,14%), acompanhando a taxa de crescimento do PIB nacional, de 1,3%. Mas, este comportamento foi beneficiado pela utilização de outros tipos de energia, visto que o consumo de energia elétrica registrou uma queda de 6,6% em 2001.

A única exceção é o ano de 2009, como é possível observar na Tabela 4. Evidenciando a crise financeira internacional, a indústria foi a principal responsável pela retração na demanda de energia no Brasil neste ano, com queda de 6,8% em relação a 2008 (BEN, 2012). Ainda assim, o setor industrial continuou a ser o maior consumidor, imediatamente seguido por transportes e setor energético. Vale destacar, no entanto, que o consumo global de energia voltou a expandir no ano de 2010 e 2011.

Tabela 4 – Consumo Final por Setor (10³ tep)

Identificação	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Consumo final	177.394	182.114	191.197	195.909	202.898	215.499	226.393	221.334	241.052	246.442
Consumo final não energético	12.864	12.492	12.976	13.222	14.324	14.155	14.676	14.971	17.692	17.783
Consumo final energético	164.530	169.622	178.221	182.687	188.574	201.343	211.717	206.364	223.359	228.659
Setor energético	14.067	15.832	16.442	17.643	18.823	21.041	24.546	24.414	24.263	21.809
Residencial	20.702	20.902	21.357	21.827	22.090	22.271	22.738	23.227	23.669	23.439
Comercial	4.977	4.994	5.188	5.452	5.631	5.935	6.190	6.179	6.731	7.165
Público	3.199	3.216	3.273	3.451	3.453	3.557	3.567	3.717	3.636	3.714
Agropecuário	8.048	8.152	8.276	8.358	8.550	9.062	9.905	9.453	9.922	9.895
Transportes - total	48.460	48.160	51.469	52.459	53.270	57.621	62.444	62.687	69.647	74.227
Rodoviário	43.727	44.329	47.334	48.073	49.067	52.892	57.370	57.683	63.963	68.072
Ferrovário	563	636	646	666	681	717	764	769	1.062	1.113
Aéreo	3.134	2.241	2.392	2.596	2.435	2.674	2.857	2.875	3.241	3.609
Hidroviário	1.036	954	1.096	1.124	1.088	1.338	1.452	1.359	1.380	1.432
Industrial - total	65.078	68.367	72.217	73.496	76.757	81.856	82.327	76.686	85.491	88.410
Cimento	3.225	2.808	2.648	2.831	3.087	3.373	3.742	3.675	4.157	4.622
Ferro-gusa e aço	15.778	16.701	17.945	17.459	16.985	18.240	18.229	13.636	16.445	17.672
Ferro-ligas	1.135	1.470	1.563	1.613	1.613	1.803	1.811	1.446	1.695	1.559
Mineração e pelotização	2.540	2.495	2.642	2.905	3.013	3.342	3.349	2.407	3.182	3.402
Não ferrosos e outros metal.	4.322	5.014	5.298	5.430	5.694	5.982	5.975	5.601	6.492	6.865
Química	6.364	6.547	7.115	7.168	7.364	7.657	7.209	6.808	7.214	7.326
Alimentos e bebidas	15.761	16.659	17.599	17.926	20.122	21.262	20.694	21.658	23.244	23.023
Têxtil	1.069	1.080	1.186	1.202	1.213	1.275	1.208	1.157	1.212	1.201
Papel e celulose	6.589	7.120	7.299	7.684	8.016	8.555	8.957	9.511	10.056	10.222
Cerâmica	3.025	3.126	3.215	3.412	3.533	3.841	4.157	4.107	4.455	4.586
Outros	5.269	5.346	5.707	5.866	6.118	6.525	6.997	6.680	7.338	7.931
Consumo não identificado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: BEN (2012)

Para atender a este consumo crescente, novas usinas geradoras, sistemas de transmissão e distribuição serão construídos. A construção de Novas Usinas e Sistema de Transmissão está associada a grandes investimentos, longos prazos para conclusão das obras e significativos impactos ambientais.

Assim, considerando que quanto maior o nível de atividade econômica, maior o uso da energia e maiores os impactos ambientais deste uso, a eficiência energética pode trazer muitos benefícios, entre eles: aumenta a segurança no abastecimento de energia, contribui para a eficiência econômica e reduz os impactos ambientais. Estes três itens se complementam, implicando na redução da energia necessária por unidade de produto econômico, aumentando a eficiência da economia e garantindo que a mesma produção possa ser obtida com menos energia e, portanto, com menor uso de recursos naturais e menores danos ambientais (ELETROBRÁS, 2011).

Os resultados do estudo de Belke, Dobnik e Dreger (2011), que analisaram a relação de longo prazo entre o consumo de energia e o PIB real, incluindo os preços da energia, de 25 países da OCDE, 1981-2007, sugerem que o consumo de energia e o crescimento econômico são inter-relacionados. Neste caso, é importante que o planejamento de políticas eficientes de conservação de energia considere os impactos diretos do consumo de energia sobre o crescimento econômico e das consequências do crescimento econômico no consumo de energia.

No Brasil, diversos mecanismos de fomento à eficiência energética foram promovidos pelo governo federal. Dos programas nacionais implementados nas décadas anteriores e ainda em operação os mais importantes são o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (desde 1985), o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e Gás Natural - CONPET (desde 1991) e os programas de eficiência energética mandatórios geridos pelas empresas concessionárias distribuidoras e supervisionadas pela ANEEL.

O PROCEL, coordenado pela Eletrobrás, promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. O seu escopo inclui a elaboração de etiquetas de consumo de eletricidade em aparelhos eletrodomésticos e motores; diagnósticos sobre o consumo de energia elétrica em pequenos e médios estabelecimentos industriais e comerciais; financiamento de iniciativas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), particularmente no centro de pesquisas da Eletrobrás – CEPEL, direcionadas à fabricação de motores e aparelhos elétricos mais eficientes; desenvolvimento de atividades de apoio à elaboração de propostas de legislação e regulamentação referentes à eficiência energética; apoio a projetos voltados para a redução de perdas na geração, transmissão e distribuição de eletricidade; estabelecimento de sistemas de informação e de atividades de *marketing* sobre

eficiência energética; e gerenciamento de programas educacionais e de treinamento direcionados à criação de uma cultura de conservação de energia (ELETROBRÁS, 2011).

As atividades do PROCEL têm coberto os setores residencial, comercial e industrial, mais serviços públicos como iluminação e abastecimento de água, e uma gestão eficiente do consumo de eletricidade em edifícios públicos (ELETROBRÁS, 2011).

Em 2011, de acordo com o relatório de avaliação de resultados do PROCEL, este programa foi responsável por evitar 196 mil t CO₂ equivalente e chegou a uma economia de 6,696 bilhões de kWh. O resultado também representou 1,56% do consumo total de eletricidade no país ou uma produção anual de uma hidrelétrica de 1.606 MW. As ações do PROCEL trouxeram ainda uma queda de 2.619 MW na demanda de ponta, de acordo com dados do relatório (ELETROBRÁS PROCEL, 2012).

Já o CONPET, criado pelo Governo Federal, é coordenado pela Petrobrás e possui a finalidade de desenvolver e integrar as ações que visem à racionalização do uso de derivados de petróleo e do gás natural, por meio da redução de perdas e eliminação de desperdício, do uso de energia de forma mais racional e eficiente e do desenvolvimento de tecnologias de maior eficiência energética (MCT, 2008). Este programa promove ações de etiquetagem de produtos e de veículos (CONPET, 2011).

O principal projeto institucional do CONPET é o “CONPET na Escola” e no setor de transportes possui dois projetos de sucesso: “SIGA-BEM”, uma parceria com a BR, voltado para aconselhar motoristas de caminhão em postos da BR sobre como reduzir o consumo de óleo diesel em seus veículos; e “ECONOMIZAR”, uma parceria com a Confederação Nacional de Transportes, no qual, através de unidades móveis, se oferece assistência a garagens e oficinas de companhias de transporte de carga e passageiros na busca da gestão ótima de seus estoques de óleo diesel, visando reduções no consumo específico de combustível e nas emissões de poluentes das frotas envolvidas (MME, 2007).

A maior parte das iniciativas do CONPET no setor industrial tem sido direcionada para melhorias de eficiência energética e redução de gastos com energia nas refinarias da PETROBRÁS, incluindo um maior uso de unidades eficientes de cogeração. Nos setores residencial/comercial deve-se mencionar o trabalho do Programa, pioneiro no Brasil, de etiquetagem do consumo de GLP em fogões (MME, 2007).

Antes do CONPET, outro programa voltado para o uso eficiente de petróleo e gás natural foi instituído em 1981, o Programa de Conservação de Energia no Setor Industrial (CONSERVE). Ele surgiu em meio a crise do petróleo de 1973 e 1979, dois anos após a

assinatura dos protocolos com as indústrias de cimento, siderurgia e papel/celulose, visando à redução do consumo de óleo combustível nestes setores (PNE 2030, 2007).

A prioridade deste Programa era reduzir a dependência nacional de derivados de petróleo importado, abrangendo todos os Setores Industriais. Suas ações seguiram duas linhas fundamentais: o fornecimento de assistência tecnológica, por meio de diagnósticos energéticos; e o suporte financeiro, através de empréstimos subsidiados, permitindo a implementação das ações identificadas nos diagnósticos (PNE 2030, 2007).

No entanto, o CONSERVE foi um programa pioneiro, que não atingiu boa parte dos objetivos desejados. Seus possíveis candidatos preferiam aderir à Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD), devido a sua rápida implementação e reduzidos procedimentos burocráticos. Esta, por sua vez, constituiu-se em uma tarifa reduzida, fornecida às indústrias dispostas a substituir derivados de petróleo por eletricidade (PNE 2030, 2007).

Neste mesmo contexto, hoje, há ainda dois outros instrumentos para promover tecnologias mais eficientes. Um deles é a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que estabelece que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, 0,25% em programas de eficiência energética no uso final (PRESIDÊNCIA, 2011). Estes últimos, para serem implementados devem ser aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Em abril de 2008, a Aneel havia aprovado 279 deles, o que permitiu a redução anual de 369 GWh (ANEEL, 2008).

Vale ressaltar, ainda, que a partir do projeto de Lei do Senado (PLS 430/2011), aprovado em 15 de março de 2012 e que altera a Lei 9.991/2000, os recursos das distribuidoras de energia elétrica destinados a programas de eficiência energética deverão ser aplicados de forma prioritária em iniciativas da indústria nacional. Tal proposta estimula a indústria nacional no que se refere à inovação tecnológica (AGÊNCIA AMBIENTE ENERGIA; AGÊNCIA SENADO, 2012).

O outro instrumento é a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que determina que o Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes (PRESIDÊNCIA, 2011). No entanto, de acordo com IPEA (2010), foram poucos os efeitos constatados na indústria.

É importante destacar que apesar de a indústria responder pelo maior consumo final energético no Brasil, o setor não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética, que focam os setores público, residencial e comercial, responsáveis, de acordo com o BEN (2012), por apenas 14% do total do consumo final energético brasileiro. Paralelamente, grande parte das oportunidades de economia de energia no setor industrial provém de processos térmicos, enquanto as ações de eficiência energética do governo focam mais no consumo da energia elétrica.

De acordo com o IPEA (2010), um estudo em parceria da Eletrobrás com a CNI (Confederação Nacional das Indústrias) avaliou 217 projetos de eficiência energética na indústria, em 13 diferentes setores. O estudo confirmou as vantagens econômicas de se investir na conservação da energia. Porém, a pesquisa apontou que o maior problema é a existência de equipamentos obsoletos na área dos processos térmicos (caldeiras e outros), os quais são, também, altamente emissores de GEE e de poluentes. Por isso, as políticas oficiais de eficiência energética, voltadas para a energia elétrica, não alcançam a indústria. Há a necessidade de se promoverem mais pesquisas e desenvolvimento que apontem caminhos para melhorias permanentes, além da substituição dos equipamentos. Uma das maneiras de se viabilizarem as mudanças é o aumento do diálogo com a indústria, no sentido de difundir as vantagens da conservação da energia; outra medida é a combinação de ações de indução a mudança, por meio de incentivos temporários à indústria, para a viabilização financeira da modernização de seus equipamentos.

Uma iniciativa recente, no Brasil, foi a avaliação de 90 das 120 indústrias cerâmicas da região do Seridó – entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba – pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT/MCTI), através do projeto Eficiência Energética em Cerâmicas de Pequeno Porte na América Latina para Mitigar a Mudança Climática. O objetivo é incentivar medidas para otimizar o uso da energia nessas empresas, bem como reduzir as emissões de carbono e diminuir o impacto ambiental da atividade, desenvolvendo um modelo para ser replicado por outros núcleos produtores de cerâmica da América Latina. A iniciativa se estende até 2013, com possibilidades de renovação, visando a mudança completa no uso da energia e dos recursos ambientais, nas relações de trabalho e na qualidade da produção das pequenas indústrias cerâmicas na América Latina (AMBIENTE ENERGIA, 2012).

Sendo assim, embora os investimentos em programas de eficiência energética tenham sido marginais frente aos investimentos alocados nas opções disponíveis de aumento da oferta de energia (produção/importação, transporte e distribuição), no Brasil, esse quadro

pode mudar no futuro, se forem satisfeitas condições, como, por exemplo, a inserção de novos programas de eficiência energética no planejamento energético nacional, competindo com as opções de aumento da oferta de energia (MME, 2007).

Neste contexto, de acordo com o relatório Matriz Energética Nacional 2030 (MME, 2007), o detalhamento da política nacional de eficiência energética tem como objetivo geral orientar a ação dos diversos entes governamentais e privados no combate ao desperdício energético e na construção de uma sociedade energeticamente eficiente, sendo seus objetivos específicos os seguintes:

- Direcionar a aplicação dos recursos disponibilizados para a eficiência energética segundo as diretrizes e linhas de ação definidas por esta política;
- Definir e alinhar os instrumentos de ação governamental, em especial os programas nacionais de eficiência energética com o planejamento energético nacional;
- Orientar o aperfeiçoamento contínuo do marco legal e regulatório;
- Promover a mobilização permanente da sociedade brasileira no combate ao desperdício de energia e preservação dos recursos naturais; e
- Propiciar a constituição de um mercado sustentável de eficiência energética.

As diretrizes políticas formuladas para se buscar alcançar os objetivos estabelecidos são:

- Criar um ambiente sustentável para a indústria de eficiência energética.
- Estimular o aumento da eficiência energética de equipamentos, sistemas e processos produtivos.
- Incorporar de forma sistematizada a eficiência energética no planejamento de curto, médio e longo prazo do setor energético.
- Fomentar a substituição de fontes energéticas sempre que isto representar ganhos sistêmicos de eficiência.
- Direcionar o poder de compra governamental para a aquisição de produtos e serviços eficientes, do ponto de vista energético.
- Fomentar a redução de perdas técnicas nos sistemas de produção, transporte e distribuição de energia.

Considerando isso, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2012-2021) prevê um forte avanço das medidas de eficiência energética nos próximos anos. A previsão da EPE (2012a) é que sejam conservadas 24.693×10^3 tep de energia total, até 2021. As projeções relativas especificamente ao consumo de eletricidade indicam que serão conservados 48 TWh por ano ao fim deste período, o que corresponde a uma usina

hidroelétrica com potência instalada de 10.000MW, ou três usinas de Xingó. A maior economia ocorrerá no setor industrial, respondendo por 17,9 TWh.

Além disso, vale salientar, que, apesar dos modestos resultados até o momento, Szklo *et al.* (2005) afirma que se o Brasil não tivesse implementado medidas e iniciativas, como os exemplos citados, para aumentar a eficiência do uso da energia, bem como medidas para reduzir a dependência do país das importações de energia, diversificar as fontes energéticas, desenvolver e implantar fontes de energia mais renovável, reduzir impactos ambientais adversos e contribuir para o desenvolvimento social e econômico, os níveis de emissões ficariam em níveis mais elevados hoje e implicaria em níveis mais elevados de emissões no futuro.

Desta forma, embora alguns dos programas e medidas apresentados, até então, não tenham sido motivados como uma estratégia para frear a mudança climática global, os resultados podem ser replicados visando reduzir as futuras emissões de CO₂ do Brasil.

Portanto, para contribuir de modo mais efetivo com o governo na elaboração e condução de estratégias adequadas para estimular e orientar sobre a adoção e o uso de energéticos de modo a reduzir o impacto ambiental, cabe analisar e quantificar a contribuição que alterações da matriz energética traria para a redução da emissão de CO₂. Ressalta-se que não é foco desta pesquisa estudar sobre a eficiência energética no setor industrial, mas julgou-se importante este tópico, uma vez que, além da substituição energética por fontes mais limpas, a eficiência energética apresenta-se como uma das opções viáveis para a redução das emissões de gases do efeito estufa.

Como já mencionado, o presente trabalho focará na alteração da matriz energética, por combustíveis mais limpos, do setor industrial, uma vez que se trata do maior consumidor de energia, representando 35,9% do consumo total brasileiro (BEN, 2012), e do segundo maior emissor de CO₂ do Brasil (EPE, 2012a). A seguir serão discutidos os setores, com destaque para o setor industrial e de transportes, considerando o contexto energético.

2.2.4 - Setores no contexto de energia

Conforme já comentado, cresce, cada vez mais, a importância das medidas de mitigação de emissões na produção e uso da energia. Nesse sentido, a análise da participação

setorial no total de emissões permite avaliar as tendências de evolução das emissões de cada setor, possibilitando considerações sobre possíveis ações para mitigá-las.

A partir do Gráfico 3, é possível observar que o setor industrial e o setor de transportes respondiam, em 2011, por 73,4% das emissões antrópicas associadas a matriz energética brasileira, sendo que o total, de acordo com os resultados preliminares do BEN (2012), atingiu 395,8 MtCO₂-eq.

(*) inclui os setores agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas

Gráfico 3 – Emissões de CO₂ no ano de 2011, em MtCO₂

Fonte: Resultados Preliminares BEN (2012)

Da mesma forma, a partir da Tabela 5, que apresenta a evolução das emissões setoriais devido à queima de combustíveis fósseis com fins energéticos e também as emissões fugitivas, é possível verificar que o setor industrial e o setor de transportes, apesar do uso mais intenso de etanol e biodiesel e de ações no sentido de mitigar emissões na indústria, permanecerão responsáveis pela maior parte das emissões em 2021 (EPE, 2012a).

Tabela 5 - Brasil: Evolução das emissões de GEE na produção e uso de energia
(Valores em MtCO₂-eq, referentes à queima de combustíveis fósseis)

Setor ¹	2011	2016	2020	2021
Setor Elétrico ²	30	54	68	69
Setor Energético	25	34	46	48
Residencial	18	20	22	23
Comercial	2	2	2	2
Público	1	2	2	2
Agropecuário	18	22	25	25
Transportes	192	225	261	269
Industrial	99	133	160	165
Emissões fugitivas ³	12	27	36	38
Total	396	519	622	641

(1) De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN)

(2) Geração termoeletrica no sistema interligado nacional e autoprodução

(3) Não incluem emissões nas minas de carvão

Fonte: EPE (2012a)

Somado às elevadas emissões, vale mencionar, ainda, que o setor industrial e o de transporte representaram, no ano de 2011, 71,2% do consumo final energético do Brasil, como mostrado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Consumo Final Energético por setor (%)

Fonte: BEN (2012)

Considerando a representatividade destes dois setores nas emissões e no consumo total de energia, no Brasil, evidencia-se a importância de abordar o setor industrial e o setor de transportes no contexto de energia.

Setor de Transportes no contexto de Energia

Apesar do setor de transportes consumir menos energia quando comparado com o setor industrial, ele vem apresentando um crescimento maior deste consumo. De acordo com o BEN (2012), o setor industrial apresentou um crescimento de cerca de 3% no consumo de energia, entre 2010 e 2011, enquanto que o setor de transportes cresceu 6,6% no mesmo período, aumentando o consumo de 69,6 Mtep, em 2010, para 74,2 Mtep, em 2011.

Vale ressaltar, ainda, que, de acordo com os dados de 2010, da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), o número de habitantes por veículo, no Brasil (6,1) é alto quando comparado com países como Estados Unidos (1,2), França (1,7) e Japão (1,7). Entre outros países da América Latina, a taxa é de 3,5 no México e 4,0 na Argentina (ANFAVEA, 2012).

Somado ao elevado consumo energético, é importante destacar que, do total do consumo de energia do setor, no país, apenas 17% corresponde a fontes renováveis de energia, principalmente o etanol (14,5%). Por outro lado, o óleo diesel é o combustível mais consumido (48,8%), seguido da gasolina (28%), justificando, desta forma, as elevadas emissões do setor (BEN, 2012).

Considerando estes dados, o elevado custo da energia e as restrições relacionadas às mudanças climáticas; a indústria automotiva é um dos setores que mostra maior investimento em P&D, com o intuito de diminuir as emissões e a dependência de combustíveis fósseis. Combustíveis alternativos, como biocombustíveis, produzidos de forma sustentável, bem como veículos elétricos são vistos como possíveis soluções.

No Brasil, as emissões do setor de transportes já estão sendo mitigadas pelo elevado uso de biocombustíveis e gás natural nos veículos do país. O biodiesel vem sendo adicionado ao óleo diesel e toda a gasolina vendida, desde 1975, é misturada com 25% de etanol de cana-de-açúcar.

Como já mencionado, alguns programas influenciaram a indústria automobilística neste sentido, como o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que objetiva a implementação de forma sustentável da produção e uso do Biodiesel; e o PROÁLCOOL, que contribuiu para incentivar o aumento da produção de etanol como substituto para a gasolina.

Além destas iniciativas, segundo Wills e La Rovere (2010), o uso de veículos mais eficientes, também, pode ajudar a reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Os autores

defendem a criação de um programa de eficiência energética para veículos, pois acreditam que melhorias tecnológicas nos veículos a motor, a eficiência de combustíveis e o estabelecimento de metas de economia de combustível ou limites de emissões mais rigorosos ajudariam a reduzir as emissões de GEE.

Vale mencionar que, de acordo com Cláudio Alzuguir, coordenador de parcerias do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), o aumento da eficiência no uso de combustíveis deve estar associado à melhoria da mobilidade urbana, à implantação de corredores preferenciais de ônibus para transporte público, ao incremento da tecnologia de veículos e, é claro, à especificação de combustíveis para a redução do consumo e emissões de gases de combustão (CEZAR, 2012).

Além disso, a eficiência energética e o consumo de fontes renováveis de energia devem ser analisados ao longo de toda a cadeia de suprimentos do combustível, ao invés de serem considerados apenas no seu uso final. Neste contexto, D'agosto e Ribeiro (2009) concluíram em sua pesquisa, sobre o ciclo de vida de três combustíveis utilizados no Brasil (gasolina com 25% de etanol, etanol puro e gás natural comprimido), que o uso da gasolina com 25% de etanol consome menos energia, durante o seu ciclo de vida, com desempenho similar ao uso do gás natural comprimido e 36% melhor do que o etanol da cana-de-açúcar. Todavia, este último tem a vantagem de depender quase exclusivamente de fontes renováveis de energia (93%), produzindo menos CO₂.

Dentro deste contexto, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020 (EPE, 2011), o mercado de etanol deverá continuar em expansão, devido à sua competitividade em médio prazo e à expansão da frota de veículos *flex fuel*.

Os sistemas *flex fuel* é uma inovação que foi derivada da competência adquirida no desenvolvimento de veículos a álcool, no Brasil. No entanto, de acordo com Bastin *et al.* (2010), não existem expectativas de que o sucesso dos veículos *flex fuel* atrasem a introdução de novas tecnologias avançadas, como os veículos híbridos ou elétricos. As barreiras mais significativas para estas novas tecnologias, segundo o autor, são os altos custos iniciais de produção e a falta de demanda dos consumidores.

No entanto, Faria *et al.* (2012) afirmam que o principal obstáculo para a adoção em massa de veículos elétricos tem sido a bateria, devido à baixa capacidade de densidade energética, o que limita o alcance dos veículos. Segundo estes autores, os veículos elétricos podem ser classificados, de acordo com o seu desenho, como:

- Veículos elétricos híbridos: movidos por um motor elétrico e um de combustão interna, ambos conectadas às rodas por meio de um acoplador de torque e completando um ao outro quando necessário.
- Veículo elétrico híbrido *plug-in*: que têm uma pequena bateria que permite um alcance entre 30 e 80 km. Quando a bateria se esgota o sistema usa um motor de combustão interna como um extensor de alcance. Estes veículos são uma evolução dos veículos elétricos híbridos e podem ser conectados à rede para carregar as baterias, aumentando a eficiência do combustível.
- Veículo elétrico completamente à bateria: alimentado apenas por um motor elétrico e com uma bateria maior, proporcionando um alcance de até 450 km.

Vale ressaltar que os sistemas híbrido-elétricos podem ser classificados como de série ou paralelo. Nos sistemas híbridos de série, todo o torque requerido para a propulsão do veículo é fornecido por um motor elétrico. Por outro lado, em sistemas híbridos paralelos o torque para a propulsão do veículo pode ser fornecido pelo motor à combustão trabalhando diretamente por meio de um sistema de transmissão para as rodas; ou por um ou mais motores elétricos; ou por ambos (BURKE, 1992).

De acordo com Faria *et al.* (2012), apesar dos avanços tecnológicos com relação à bateria, os veículos elétricos à bateria, até o momento, não são capazes de ultrapassar o alcance dos motores à combustão interna. No entanto, a pesquisa do autor concluiu que o uso de veículos elétricos movidos completamente à bateria, ao invés de veículos com motor à combustão interna, evita o uso de aproximadamente 600-900 l de combustível por veículo por ano. Da mesma forma, os veículos híbridos, também, devem contribuir para diminuir o consumo de energia pelo setor.

Já em termos de emissões de GEE, os impactos do uso de veículos elétricos movidos completamente à bateria e de veículos elétricos híbridos *plug-in* dependem diretamente do *mix* energético de geração de eletricidade (FARIA *et al.*, 2012).

Com relação a isso, Pietro Erber, Diretor-Presidente da Associação Brasileira do Veículo Elétrico - ABVE e Diretor do Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE, afirma que a origem da energia elétrica que acionará os carros à bateria tem sido frequentemente questionada. Embora mais de 85% da energia elétrica gerada no Brasil seja proveniente de fontes renováveis, em longo prazo a participação da geração termelétrica de origem fóssil deverá aumentar. No entanto, segundo Erber, mesmo que esta energia seja

gerada numa central a carvão, moderna, sua eficiência ainda será pelo menos o dobro daquela de um motor a gasolina. Além disso, existe a vantagem de deslocar emissões de efluentes tóxicos das áreas urbanas para aquelas onde as usinas termelétricas podem ser situadas (ABVE, 2012).

Outro ponto destacado por Erber é a lenta penetração dos carros elétricos à bateria no mercado, permitindo ao setor elétrico atender a demanda adicional decorrente. Se 10% da atual frota de automóveis fosse constituída de carros elétricos, ela exigiria um aumento da geração de energia elétrica da ordem de 2%. Até que a demanda desses veículos se torne expressiva, o setor elétrico terá plena condição para prover seu atendimento (ABVE, 2012).

Com relação ao custo, o trabalho de Faria *et al.* (2012) evidenciou que o veículo elétrico movido completamente à bateria é mais caro do que o com motor de combustão interna, devido ao elevado custo da bateria, podendo levar a vida útil inteira do veículo para compensar o investimento inicial. Todavia, como os custos operacionais do veículo elétrico movido completamente a bateria é menos da metade do custo operacional do veículo à combustão interna, considerando ainda a provável redução do preço da bateria, o que levaria a um custo menor de investimento; o balanço econômico tende a apontar a favor do veículo elétrico.

Porém, devido à necessidade de infraestrutura robusta de logística e abastecimento para viabilizar operacionalmente a penetração de veículos leves de tecnologia híbrida *plug-in* e elétrica, o EPE (2011) não considera que estes veículos tenham uma penetração significativa no mercado brasileiro até 2020, apesar de já estarem disponíveis em vários países e apresentarem vantagens ambientais em relação ao motor à combustão interna. Além disso, os custos ainda elevados das baterias constituem barreira à disseminação dessa tecnologia, bem como o baixo alcance.

No entanto, fabricantes como Toyota, Nissan, Honda e Hyundai já começam a desenvolver parcerias para a criação de células de combustíveis, que seriam um complemento ao desenvolvimento dos carros elétricos. Estas células funcionam como um sistema que gera eletricidade para alimentar o motor através da reação eletroquímica entre o hidrogênio - armazenado em um tanque especial no carro - e o oxigênio do ar. Usadas como armazenadores e geradores de energia, essas pilhas poderão substituir as baterias de íons de lítio. Todavia, da mesma forma que existe restrições para os híbridos e elétricos, a infraestrutura também se apresenta como um desafio para o hidrogênio, uma vez que postos de abastecimento serão necessários (RIBEIRO, 2013).

Com relação aos veículos híbridos, o EPE (2011) considera que os mesmos deverão estar disponíveis no mercado brasileiro em 2015, crescendo progressivamente sua participação nesse mercado, podendo representar 3% das vendas domésticas de veículos leves em 2020, ou o equivalente a 155 mil veículos por ano.

Bruno Jorge Soares, especialista da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), que coordena grupo criado pelo governo para discutir a agenda tecnológica para a cadeia automotiva, ressalta que há um caminho a ser trilhado. Segundo ele, o primeiro passo é melhorar a eficiência dos motores a combustão, processo previsto no Inovar-Auto, programa lançado pelo governo em 2012. O programa estabelece, por exemplo, que até 2017 os carros novos terão de consumir 13,6% menos combustível em relação ao índice atual. Um veículo com gasolina terá de percorrer, em média, 15,9 km por litro e, com álcool, 11 km/litro. Para Soares, o híbrido seria o passo seguinte. Já o elétrico é mais para o longo prazo, se for a opção da matriz energética brasileira (SILVA, 2013).

Além do setor de transportes, outro setor que pode ser beneficiado com os avanços tecnológicos automotivos, devido à elevada utilização de veículos em seus processos logísticos, é o setor industrial. Este setor, como comentado, também, merece atenção, uma vez que apresenta um elevado consumo de energia, além de possuir muitas das suas atividades dependentes de combustível fóssil, o que contribui para as elevadas emissões de poluentes deste setor, sendo, portanto, o foco desta pesquisa.

Setor Industrial no contexto de Energia

Walter (2007) explica que o crescimento das emissões pode ser explicado pelo crescimento populacional, pelo crescimento da renda per capita, pela evolução da intensidade energética (por exemplo, expressa em GJ/\$ do PIB) e pela evolução da intensidade das emissões por unidade de energia (por exemplo, CO₂/GJ). A intensidade das emissões será tanto menor quanto menor a importância, nas matrizes energéticas, de insumos energéticos de alta intensidade de carbono. Por sua vez, a intensidade energética será tanto menor quanto maior a eficiência de uso da energia e quanto menor a importância de setores energointensivos na atividade econômica.

Assim, quando se compara a evolução dos índices de intensidade energética industrial (relação entre energia e valor agregado) de um grupo selecionado de países, nota-se

que o Brasil vem caminhando no sentido contrário ao mundial, como é possível observar na Figura 7. Nos países apresentados, há redução significativa da intensidade energética da indústria, enquanto que, no Brasil, a intensidade aumenta.

Figura 7 – Índices de Intensidade Energética da Indústria
Fonte: Resultados Preliminares BEN (2010)

Uma justificativa para isso pode ser pautada analisando a Curva Ambiental de Kuznets (CAK), que, como já mencionado, ao apresentar o formato de um U invertido, considera que, nos estágios iniciais de desenvolvimento econômico, ocorre um aumento da poluição como consequência do crescimento econômico. No entanto, a partir de determinado momento, a poluição decresce, ao passo que o crescimento continua a aumentar.

Suri e Chapman (1998) estudaram a CAK com foco no consumo energético, considerando este como a fonte de diversos problemas ambientais. Especificamente, eles estudaram o impacto que a importação e exportação de produtos manufaturados têm no consumo energético comercial de um país e, consequentemente, na geração de poluentes.

A partir deste estudo verificou-se que, embora os países que estão se industrializando e os já industrializados terem, ambos, aumentado suas necessidades de energia exportando bens manufaturados, o aumento foi substancialmente maior no primeiro. Ao mesmo tempo, os países industrializados têm sido capazes de reduzir suas necessidades de energia através da importação de bens manufaturados (SURI; CHAPMAN, 1998).

Deste modo, o trabalho concluiu que, mantendo-se as demais variáveis constantes, os efeitos do comércio internacional tendem a influenciar o ponto de inversão na CAK, para as emissões de poluentes relacionados ao uso de energia. Em países que

apresentam um rápido processo de industrialização, que se encontram no segmento íngreme da parte inclinada ascendente da curva, as exportações dos produtos manufaturados têm sido um fator chave que direciona o consumo energético. Este rápido aumento do consumo de energia, associado a controles insignificantes sobre poluentes, resultou em rápido aumento nas emissões (SURI; CHAPMAN, 1998).

Vale mencionar que a maioria das exportações destes países é consumida em países industrializados, o que permite que os países industrializados se beneficiem da poluição evitada. Recorde-se que a natureza das importações dos países que estão se industrializando tem sido de tal forma que eles não tiveram o benefício de reduzir suas necessidades de energia através de importações de bens manufaturados. Suas importações têm sido, na sua grande maioria, de bens intermediários e de capital que são essenciais para a construção de uma base industrial.

Suri e Chapman (1998) ainda afirmam que a porcentagem de aumento da necessidade de energia, associada à porcentagem de aumento do PIB, é substancialmente mais baixa, nos países industrializados, do que era na sua fase de industrialização. No entanto, além da mudança estrutural, a importação, por estes países industrializados, dos produtos fabricados, também, tem desempenhado um papel importante neste declínio. Na medida em que um menor crescimento do consumo de energia contribuiu para a redução de poluentes, pode-se dizer que as importações têm ajudado na recessão da CAK.

Convergindo com o trabalho de Suri e Chapman (1998), os resultados preliminares do BEN (2010) apontaram que os países ricos, além da inovação tecnológica, transferiram aos países em desenvolvimento grande parte da indústria “pesada” – intensiva em energia e capital (aço, alumínio e outros metais). O Brasil foi um dos países que absorveu parte desta indústria pesada, evidenciado no aumento da participação da indústria no consumo final de energia, de 29,8% em 1973 para 35,6% em 2010. Por outro lado, de 1973 para 2007, o consumo industrial de energia dos países da OECD recuou de 955 milhões de tep para 872 milhões de tep, apesar do consumo final total de energia ter aumentado de 3.097 milhões de tep para 4.076 milhões de tep.

A Tabela 6 apresenta as estruturas setoriais de consumo final de energia do Brasil, OECD e outros países do mundo.

Tabela 6 – Matriz de Consumo Final de Energia, por setor (% e tep)

Especificação	Brasil		OECD		Outros (*)	
	1973	2009	1973	2007	1973	2007
Indústria	29,8	34,6	30,8	21,4	35,8	28,1
Transporte	25,0	28,4	23,3	30,4	23,4	21,3
Setor Energético	3,3	10,8	8,3	7,5	6,9	8,1
Outros Setores	38,7	19,3	30,4	31,2	29,7	34,7
Uso não-energético	3,1	6,8	7,1	9,6	4,2	7,8
Total (%)	100	100	100	100	100	100
Total - milhões tep	76	221	3.097	4.076	1.478	4.703

*Exclusive Brasil e países da OECD

Fonte: Resultados Preliminares BEN (2010)

Os resultados do trabalho de Freitas, Dantas e Iizuka (2012) confirmam que a maioria das atividades de P&D dos BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) está focada no avanço de indústrias/tecnologias intensivas no uso de energia. Entre os setores energia-intensivos estão: metalurgia, papel e celulose, química, mineração e petróleo.

De acordo com o PDE 2021 (EPE, 2012), uma vez que as indústrias produtoras de insumos básicos respondem por importante parcela do consumo industrial de energia, a expansão dessa indústria tem significativos reflexos no consumo total energético.

Deste modo, a partir da Tabela 7 nota-se que o carvão mineral – principal insumo energético da indústria de aço – aumenta a participação no Brasil e nos outros países do mundo e cai nos países da OECD. Já na OECD, os combustíveis mais nobres, como gás e eletricidade, são os que mais incrementam suas participações, deslocando derivados do petróleo e carvão mineral.

Tabela 7 – Matriz de Consumo Industrial de Energia, por Fonte (% e tep)

Especificação	Brasil		OECD		Outros (*)	
	1973	2009	1973	2007	1973	2007
Derivados Petróleo	39,3	16,3	32,6	15,2	24,3	14,2
Gás Natural	0,1	9,4	26,6	30,5	20,4	16,0
Carvão Mineral e derivados	7,0	12,2	18,8	15,0	33,1	39,9
Eletricidade	11,1	20,9	17,7	31,0	20,0	23,4
Biomassa	42,4	41,2	4,4	8,2	2,3	6,4
Total (%)	100	100	100	100	100	100
Total - milhões tep	23	77	955	872	530	1.321

*Exclusive Brasil e países da OECD

Fonte: Resultados Preliminares BEN (2010)

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2012), a estratificação do consumo de energia no Setor Industrial Brasileiro demonstra que grande parte dos recursos energéticos utilizados provém de recursos renováveis, com a participação significativa da cana-de-açúcar e da lenha como recursos energéticos sustentáveis, como é possível observar na Tabela 8. Porém, como já mencionado, as fontes fósseis de energia ainda apresentam uma participação significativa no consumo industrial.

Segundo o Plano Nacional de Mudança do Clima (2008), os usos finais dos energéticos na indústria são fundamentalmente destinados a processos térmicos, sejam eles para produção de bens e serviços de uso final, sejam para a produção de energia elétrica. Essas parcelas de energia destinam-se, nos diferentes segmentos industriais, aos processos de fusão, aquecimento por indução, força motriz, refrigeração, secagem e de iluminação.

Tabela 8 – Estrutura de Consumo do Setor Industrial (%)

Identificação	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás Natural	7,4	8,5	8,6	9,2	9,8	9,9	9,8	10,3	9,3	10,8	11,3
Carvão Mineral	4,5	4,6	4,8	5,0	4,8	4,6	4,6	4,7	3,8	3,8	3,9
Lenha	8,3	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,4	7,9	8,6	8,4	8,3
Bagaço de Cana	16,0	17,0	17,5	17,7	17,8	19,9	19,7	18,7	21,2	20,2	19,1
Outras Fontes Prim. Renováveis	5,0	5,1	5,7	5,6	5,8	6,0	6,1	6,4	7,3	7,1	6,9
Óleo Combustível	9,8	9,0	7,4	6,1	6,0	5,3	5,1	4,8	4,9	3,8	3,3
Gás de Coqueria	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5
Coque de Carvão Mineral	10,3	10,2	9,8	9,4	8,7	8,0	8,2	8,1	6,9	8,8	9,1
Eleticidade	19,5	20,1	20,2	20,5	20,5	20,6	20,2	20,6	20,9	20,5	20,4
Carvão Vegetal	6,4	6,3	7,1	8,0	7,7	7,2	6,9	6,8	4,3	4,7	5,0
Outras	11,4	10,3	9,9	9,4	9,8	9,8	10,6	10,4	11,5	10,5	11,1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: BEN (2012)

Pelo grande consumo energético e pelo alto grau de impactos ambientais causados pelos grandes emissores de CO₂, a área industrial, inicialmente, é onde se concentra uma das maiores possibilidades de redução destes fatores (consumo energético e emissão).

Deve-se destacar que, de acordo com o IPCC (2005), não existem grandes incentivos ou exigências para a armazenagem do CO₂ capturado a partir dos fluxos de processos industriais, sendo a maior parte ventilada para a atmosfera. Alguns exemplos de fluxos de processos que são fonte de CO₂, que não é capturado, incluem a produção de cimento e de aço, e processos de fermentação para produção de alimentos e bebidas. Nestes processos, o CO₂ poderia ser capturado a partir desses fluxos utilizando técnicas que são

comuns a captura pós-combustão, captura de combustão oxi-combustível e captura pré-combustão, explicadas anteriormente.

No entanto, estas seriam alternativas relacionadas à abordagem “fim de tubo”, comentada no item sobre gestão sustentável da produção, e, portanto, não seriam as mais adequadas para solucionar o problema relacionado às emissões. Logo, evidencia-se a necessidade de ações visando à eficiência energética e de ações conjuntas da indústria e dos governos para o alcance de um menor grau de emissão de GEE e de poluentes.

Deste modo, é possível enxergar a eficiência energética como um potencial caminho para o aumento da competitividade, uma vez que ajuda na redução dos custos operacionais. Além disso, é também uma das armas para que a indústria alcance as regulações e certificações referentes à preservação do meio ambiente, já que o setor é visto como um dos grandes vilões da poluição, atualmente.

Há de se observar, porém, que os programas de eficiência energética são apenas uma ponta das medidas de conservação de energia no contexto de uma situação mais complexa que passa pela definição de que atividades industriais devem ser incentivadas, prioritariamente, no país. É fácil verificar que toda economia de energia do setor residencial, por exemplo, ou de indústrias de maior valor agregado no país seria insignificante diante do aumento de 40% em setores como ferro gusa e aço, cuja matriz é baseada em fontes fósseis de energia. Esta situação é provável para a próxima década, de acordo com o estudo do IPEA (2010).

Vale salientar, ainda, que os resultados do trabalho de Tolmasquim, Cohen e Szklo (2001) confirmaram que o desenvolvimento do consumo de energia no setor industrial do Brasil está intimamente ligado à composição de sua produção industrial, e que, além disso, a influência das indústrias de energia intensiva é fundamental para a previsão do desenvolvimento do consumo energético.

Considerando isso, o economista Marlon Bruno Salazar, que avaliou o impacto da eficiência energética na demanda de energia da indústria brasileira no período de 1970 a 2008, afirma que a energia é um dos principais insumos de produção nos setores energointensivos e seu custo representa importantes parcelas nas estruturas de custos das empresas. A partir da constatação de que a indústria é ineficiente na utilização da energia, é possível que haja um investimento na redução desse consumo. Considerando isso, o governo poderia incentivar o setor a investir em procedimentos ou equipamentos mais eficientes (SALAZAR, 2012).

No entanto, segundo Tolmasquim, Cohen e Szklo (2001) um esforço em eficiência nem sempre produz ganhos ambientais, sendo possível caracterizar uma matriz de consumo como simultaneamente eficiente em termos de energia e ineficiente em relação à emissão de CO₂. Isso ocorre em cenários de rápido crescimento do PIB, quando ganhos em eficiência energética não conduz ao uso de fontes de energia que levam a reduzir as emissões de CO₂.

Definições como essas devem ser direcionadoras de soluções para ações economicamente mais vantajosas e com menores impactos ambientais. Desta forma, a adoção de energias renováveis deve, também, atingir esses setores, da mesma forma que a cogeração sustentável de energia, ou a produção simultânea de energia elétrica ou mecânica e térmica, partindo de uma única energia primária.

Em termos de política ativa na integração energética dos processos produtivos e na promoção da cogeração, o Brasil ainda tem um longo caminho a percorrer. Segundo o Plano Nacional de Mudança do Clima (2008), estudos mostram que a presença da cogeração no mercado de energia do Brasil situa-se ao redor de apenas 0,5%. Nas médias e pequenas empresas, fortemente consumidoras de recursos energéticos, não existe a necessária integração de seus processos produtivos, seja na busca do reaproveitamento de calor ou na produção conjunta de calor, força e eletricidade.

No âmbito do setor elétrico, uma série de incentivos já tem sido oferecida à cogeração, especificamente àquela que utiliza biomassa. Entretanto, ainda é fundamental a realização de estudos aprofundados para a prospecção de mercado em nível nacional, para se obter o real dimensionamento do potencial brasileiro tanto do reaproveitamento de calor, como da cogeração. Isso permitiria dispor de um cenário novo para o mercado brasileiro, onde, além de se estar contribuindo para a redução das emissões dos gases de efeito estufa, estar-se-ia promovendo a produtividade e a competitividade empresarial das indústrias (PNMC, 2008).

Já em termos relacionados à adoção de energia renovável; como, por exemplo, a queima de biomassa para geração/cogeração de energia, em troca da queima de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral; pode-se dizer que é fundamental para o meio ambiente e desempenha o papel de trazer uma destinação a um material natural que, em vários casos, poderia ser descartado (como casca de arroz, bagaço de cana etc). A prática é 100% sustentável e se encaixa muito bem no perfil de necessidades da indústria e da sustentabilidade de uma forma geral.

No Brasil, esse tipo de projeto começa a ganhar força. No Rio Grande do Sul, já é operada uma planta que produz energia elétrica a partir da queima da casca de arroz, um insumo até então sem utilidade e rejeitado pelos agricultores locais. O projeto trouxe uma nova renda para as famílias, uma nova utilidade ao que antes era considerado lixo e um enorme benefício ao meio ambiente (MAXPRESS, 2012).

Também começam a ser utilizados em maior escala outros tipos de biomassa como cavaco de madeira, capim elefante e bagaço de cana, palha, lixo, etc, para produção de energia (MAXPRESS, 2012).

Ressalta-se, no entanto, que a convergência entre eficiência e melhor qualidade ambiental na matriz de consumo de energia depende dos critérios de seleção de tecnologias que ressaltem as fontes de energia renovável, com padrões de consumo que efetivamente evidenciem os ganhos da eficiência energética (TOLMASQUIM; COHEN; SZKLO, 2001).

No entanto, de acordo com a Confederação Nacional das Indústrias – CNI (2009), os estímulos a uma economia de baixa utilização de carbono demandará uma estrutura apropriada de incentivos, de regulação e de taxação. O conjunto de decisões depende de uma ação articulada que envolva o governo (regulações, taxação, negociações), setor privado (mudanças estruturais, decisões de investimento) e consumidores (comportamento). Para estes últimos, devem ser enfatizados os trabalhos de educação e informação sobre a intensidade do uso do carbono nos produtos consumidos.

Na área de financiamento, a capacidade das empresas para enfrentar os desafios da mitigação e adaptação depende fortemente de seu porte. Pequenas e médias empresas têm tradicionalmente maiores dificuldades para obter financiamento para seus investimentos e a situação não é diferente quando se trata de investimentos em esforços de mitigação e adaptação (CNI, 2009).

A CNI (2009) ainda afirma que o setor industrial brasileiro está ciente dos riscos do aquecimento global e do papel que lhe cabe na busca pela redução das emissões e nos esforços de adaptação. No entanto, apesar deste setor ter grande contribuição a oferecer no desenvolvimento de tecnologias e de soluções para adaptação, esse tema ainda não está enraizado nas estratégias das empresas, sendo a incorporação da preocupação com adaptação ainda reduzida nas decisões de investimento das empresas do país.

A alteração do *mix* de combustíveis, ou seja, a substituição dos combustíveis mais intensivos em carbono por outros com menor intensidade, enquadra-se como uma das alternativas para a adaptação do setor industrial a uma economia de baixo carbono. Deste modo, amplia-se a importância deste trabalho, que se baseia na análise de oportunidades de

redução do gás carbônico nas indústrias brasileiras por meio da substituição de fontes não renováveis de energia por fontes renováveis, fornecendo, desta forma, informações com relação aos benefícios de tal substituição.

Os estudos foram orientados, primeiramente, aos setores cujo desempenho do ponto de vista de produção sustentável foi menor, quando comparados aos demais setores. Uma vez que determinado setor se apresenta com baixo desempenho para reduzir os impactos ambientais e aumentar os benefícios sociais e os econômicos, justifica-se uma intervenção no processo de modo a aumentar o seu desempenho. Neste trabalho, esta intervenção consiste na substituição energética.

De acordo com o IPCC (2011), além de ter um grande potencial para mitigar as mudanças climáticas, as energias mais limpas, em especial as renováveis, podem fornecer benefícios mais amplos. Se implementada corretamente, estas fontes de energia podem contribuir para um suprimento de energia seguro, para o acesso à energia, para reduzir os impactos negativos sobre o meio ambiente e saúde, e, por fim, para o desenvolvimento social e econômico. Além disso, vale lembrar que a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis pode ser caracterizada como um projeto de MDL, que trata do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de sequestro de carbono ou mitigação das emissões de CO₂. Deste modo, a substituição da matriz energética dos diversos setores industriais por energéticos mais limpos podem proporcionar benefícios nas três dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômico e social). A seguir, é apresentado o método utilizado neste trabalho para atingir o objetivo proposto.

Capítulo 3 - MÉTODO DA PESQUISA

Para Cervo e Bervian (2002), a pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas, por meio do emprego de processos científicos. A pesquisa parte, pois, de uma dúvida ou problema e, com o uso do método científico, busca uma resposta ou solução.

Para esse fim, dispõe-se de variadas abordagens, métodos de pesquisa, coleta e análise de dados. Neste capítulo serão feitas as considerações, análises e definições dos procedimentos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho para alcançar o objetivo proposto.

Com o intuito de estabelecer bases teóricas e condições operacionais para a realização do presente trabalho, o método proposto para ser utilizado é predominantemente exploratório, que tem como principal finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo mais preciso ou formular hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores (GIL, 1991).

Para que se atinja o objetivo proposto, a fundamentação teórica buscou proporcionar um embasamento substancial para fortalecer as possíveis investigações necessárias em todas as fases do projeto. Este trabalho se baseou nas principais fontes de pesquisa científica, tais como livros, artigos, relatórios governamentais, teses e dissertações. Por se tratar de um assunto atual, também foi realizado o acompanhamento de artigos de jornais e da mídia em geral.

Em seguida, foi analisado o processo produtivo e o consumo de combustíveis utilizados pelos setores industriais brasileiros que apresentam baixo desempenho do ponto de vista da produção sustentável, considerando os anos de 1996 a 2010, além de apresentarem grande potencial para aumentar este desempenho por meio da substituição energética. Assim, a análise para identificação dos setores industriais foi desenvolvida de modo a contemplar os três pilares básicos do tripé da sustentabilidade, que são o econômico, o social e o ambiental.

Desta forma, além do consumo energético, as variáveis utilizadas para esta análise foram: (1) PIB setorial, como uma variável relativa ao crescimento econômico; (b)

gastos com pessoal, na forma de salários, retiradas e outras remunerações, como variável relativa ao desenvolvimento social; (c) pessoas ocupadas em cada setor, como variável relativa ao desenvolvimento social; e (d) emissão de CO₂ por combustíveis fósseis, como variável relativa ao desenvolvimento ambiental.

Apesar de cada variável mencionada ser, neste estudo, representativa de um pilar específico do desenvolvimento sustentável, as mesmas, ainda, podem contribuir em diversos aspectos da sustentabilidade. A Tabela 9 indica algumas contribuições para o desenvolvimento sustentável, de cada variável utilizada neste modelo, bem como algumas limitações, das respectivas variáveis, que devem ser consideradas ao realizar a análise deste estudo.

Tabela 9 – Contribuições e limitações das variáveis do modelo para o Desenvolvimento Sustentável

Variáveis	Pilares da sustentabilidade	Contribuições e limitações para o Desenvolvimento Sustentável	
		Contribuição	Limitação
PIB setorial	Econômico	Relaciona-se com a geração de riqueza para possibilitar novos investimentos.	Não foi considerada a vulnerabilidade econômica (EVI) dos setores (BLANCARD; HOARAU, 2013).
	Social	Relaciona-se com a qualidade de vida, expectativa de vida, educação e saúde (ANAND; SEN, 2000).	Benefícios sociais dependem de como a renda é distribuída (ANAND; SEN, 2000; KUZNETS, 1955).
	Ambiental	Relaciona-se com a geração de riqueza para possibilitar novos investimentos em tecnologias mais limpas. Quando um país alcança certo nível de maturidade econômica, as pessoas dão mais atenção às questões ambientais (ARROW et al., 1995).	Nos estágios iniciais de desenvolvimento econômico ocorre aumento da poluição (ARROW et al., 1995).
Gastos com pessoal, na forma de salários, retiradas e outras remunerações	Econômico	Relaciona-se com o consumo interno do país.	Impacta em altos custos operacionais na indústria
	Social	O aumento da renda da população é um indicador da qualidade do trabalho (KALLEBERG et al., 2000)	Este indicador depende das diferenças salariais existentes dentro do setor.
	Ambiental	Quanto maior a percepção salarial, maior a demanda por qualidade ambiental (SMULDERS et al., 2011).	O controle da poluição depende, também, de outros fatores como, por exemplo, regulação (SMULDERS et al., 2011).
Pessoas ocupadas em cada setor	Econômico	Relaciona-se com o consumo interno do país.	Quanto mais intensivo em mão de obra, menor a produtividade do setor.
	Social	Combate ao desemprego que acarreta a perda de autonomia, autoconfiança e saúde física e psicológica do indivíduo (SEN, 1999).	Depende das condições de trabalho oferecidas.
	Ambiental	-	-
Emissão de CO ₂ por combustíveis fósseis	Econômico	Relaciona-se com o atendimento à legislação ambiental, evitando ônus para a produção, e ao atendimento às exigências internacionais viabilizando a exportação.	Desenvolvimento econômico ainda é muito dependente de fontes fósseis de energia.

	Social	Relaciona-se com o aumento da poluição, acarretando problemas de saúde.	-
	Ambiental	Relaciona-se com o aquecimento global.	As emissões de CO ₂ podem ser reduzidas pela substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis, mas isso pode ter graves inconvenientes com relação à preservação da natureza ou da biodiversidade.
Consumo energético	Econômico	A diminuição do consumo energético se relaciona com menores custos de produção (eficiência energética).	Desenvolvimento econômico ainda é diretamente relacionado ao elevado consumo energético.
	Social	A redução do investimento público em infraestrutura energética pode ser alocada em outras áreas de interesse social.	Diretamente relacionado com o Índice de Desenvolvimento Humano - HDI (IEA, 2008), se não for associado com aumento de eficiência.
	Ambiental	Relaciona-se com emissões de poluentes e extração de combustíveis na forma de petróleo ou carvão.	-

Como é possível observar na Tabela 9, apesar do conceito de desenvolvimento sustentável não poder ser expresso considerando apenas estas variáveis, as mesmas apresentam contribuição significativa para os pilares da sustentabilidade. Ressalta-se, também, que estas foram escolhidas devido à disponibilidade dos dados para os setores analisados.

Os dados relativos às variáveis “gastos com pessoal” e “pessoas ocupadas” foram coletados no *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já as variáveis “PIB setorial” e “consumo energético” foram coletadas no relatório do Balanço Energético Nacional (BEN, 2011), disponível no *website* da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e no *website* do Ministério de Minas e Energia. A variável “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”, por sua vez, foi calculada utilizando o método *Top-Down*, reconhecido internacionalmente e recomendado pela ONU (Organizações das Nações Unidas).

Para medir o desempenho de cada setor industrial foi utilizado um método de programação matemática conhecido como Análise Envoltória de Dados (DEA), descrito no tópico 3.2. Tal método, a partir do modelo SBM e da análise de janela, permitiu analisar o desempenho relativo dos setores industriais brasileiros em diminuir o consumo energético e as emissões de CO₂ por combustíveis fósseis (*inputs*), ao mesmo tempo em que aumentam o PIB setorial, as pessoas ocupadas e os gastos com pessoal (*outputs*).

Além disso, este método, também, forneceu os percentuais (e os valores absolutos) que os setores devem aumentar ou diminuir, de cada variável, para obterem um maior desempenho. Estes valores também são conhecidos como folgas.

Desta forma, a partir da elaboração de tabelas que incorporaram os resultados das folgas encontradas a partir do modelo SBM e da análise de janelas, na DEA, foi possível identificar, entre as variáveis consideradas, àquelas que poderiam contribuir mais para o aumento do desempenho dos setores se pudessem ser aumentadas (no caso dos *outputs*) ou diminuídas (no caso dos *inputs*).

Além disso, também, foi possível verificar os setores que poderiam aumentar, de forma significativa, o seu desempenho, do ponto de vista sustentável, em relação aos demais, se diminuíssem as emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia (uma das variáveis).

Assim, para realizar a Análise Envoltória de Dados, foram selecionados os principais setores industriais brasileiros, para os quais o Balanço Energético Nacional (BEN) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) forneciam dados, sendo que alguns setores foram agrupados, devido à falta de disponibilidade de informações desagregadas. Logo, para esta análise, a delimitação espacial inicial contempla os setores industriais brasileiros de: (a) Não Metálicos, que corresponde aos setores de cimento e cerâmica; (b) Extrativo Mineral, que corresponde ao setor de mineração e pelotização, excluindo-se a exploração de petróleo, gás natural e carvão mineral; (c) Metalúrgico, que corresponde aos setores de ferro gusa e aço, ferros-liga e não ferrosos; (d) Químico; (e) Alimentos e Bebidas; (f) Têxtil; e (g) Papel e Celulose.

O intervalo de tempo contemplado, nesta análise, compreende um período de quinze anos (1996 a 2010), sendo que o critério utilizado para defini-lo foi disponibilidade de dados. Vale mencionar que, apesar de já estar disponível o BEN (2012), utilizou-se, para a Análise Envoltória de Dados, o BEN (2011) uma vez que o relatório mais recente fornece os dados do “PIB setorial”, ajustado para o ano de 2011, apenas para o período de 2002 a 2011. Já o relatório do BEN (2011) fornece os dados para esta variável, ajustada para o ano de 2010, para todo o período da análise.

Uma vez selecionado os setores, foi possível, a partir do Balanço Energético Nacional, apresentar os atuais combustíveis utilizados pelos mesmos. Além disso, foram identificados os potenciais substitutos energéticos para os setores escolhidos, que foram utilizados, posteriormente, como referência para a análise das reduções das emissões de CO₂. O próximo passo foi a mensuração das emissões de CO₂ considerando as fontes atualmente utilizadas e alterações hipotéticas da matriz energética pelos possíveis substitutos dessas fontes. Reitera-se que os valores foram calculados em escala anual e foi considerado todo o território nacional. Ressalta-se, ainda, que, para esta análise, foi utilizado os dados do BEN

(2012), considerando, desta forma, o ano de 2011 como referência para a elaboração dos inventários deste trabalho.

Destaca-se, no entanto, que a quantificação mais adequada para os combustíveis provenientes da biomassa deveria ser feita considerando as mudanças no uso do solo e florestas. O que o método *Top-Down* propõe é uma quantificação destes energéticos sem considerar a captura de CO₂ destes combustíveis durante seu estágio de desenvolvimento característico. Logo, os resultados deverão ser interpretados com cautela. O método de quantificação será detalhado no próximo item.

Assim sendo, buscou-se, nesta etapa, qualificar, com relação ao impacto ambiental e suas emissões, os combustíveis utilizados nos processos produtivos dos setores selecionados.

Destaca-se que não são observadas, na indústria, emissões decorrentes do uso de energia elétrica, uma vez que essas emissões ocorrem durante a geração da mesma. No entanto, vale ressaltar que existe uma grande diversidade de formas de geração deste tipo de energia. Logo, as emissões da energia elétrica não serão abordadas no presente trabalho.

Depois de quantificadas as emissões dos setores de menor desempenho e as emissões hipotéticas, para estes setores, a partir de outros combustíveis, possíveis substitutos, foi realizada uma discussão sobre as políticas brasileiras relacionadas às fontes de energia que, de acordo com os inventários de emissão, contribuem para a redução da emissão de poluentes dos setores industriais selecionados.

3.1 - O método *Top-Down* de quantificação das emissões de CO₂

Existem dois métodos desenvolvidos pelo IPCC que permitem o cálculo de emissões de CO₂: o *Bottom-Up* e o *Top-Down*. Pela maior confiabilidade dos dados e menor complexidade para o levantamento destes, o método *Top-Down* difundiu-se mais do que o *Bottom-Up* (SIMÕES, 2003).

Visando calcular as emissões de carbono do sistema energético brasileiro, o Ministério de Ciências e Tecnologia no documento Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem *Top-Down* (MCT, 2006) adaptou o método *Top-Down*, recomendado pelo IPCC (1996), para as características particulares do sistema energético

brasileiro. Desta forma, neste trabalho, para o cálculo das emissões, muitos dos dados utilizados foram retirados deste documento.

A aplicação do método *Top-Down* do IPCC abrange a seguinte sequência de passos:

- 1) Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas unidades de medida originais;
- 2) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);
- 3) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;
- 4) Determinação da quantidade de carbono de cada combustível destinada a fins não energéticos e a dedução dessa quantidade do carbono contido no consumo aparente, para se computar o conteúdo real de carbono possível de ser emitido;
- 5) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão;
- 6) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂.

Matematicamente, segundo o MCT (2006), a emissão anual de CO₂ decorrente do uso de uma determinada fonte de energia pode ser determinada através da seguinte expressão:

$$\omega = 10^{-3} * \{[(\alpha + \beta - \chi - \delta - \varepsilon) * \varphi * \gamma] - \eta\} * \lambda * 44/12 \quad (3)$$

onde:

α = produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original

β = importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

χ = exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

δ = energia anualmente embarcada em *bunkers* internacionais, medida em unidade original

ε = variação anual dos estoques de energia, medida em unidade original

ω = emissão anual real de CO₂ (Gg CO₂)

φ = fator de conversão da unidade original para terajoules (TJ/unidades originais)

γ = fator de emissão de carbono por unidade de energia contida no combustível (t C/TJ)

η = quantidade anual de carbono estocada em produtos não energéticos (t C)

λ = fração do carbono realmente oxidado na combustão

3.1.1 - Determinação do Consumo Aparente de Combustível

De acordo com o MCT (2006), o consumo aparente de um dado combustível representa a quantidade de combustível disponível no país e é calculado da seguinte forma:

$$\text{Consumo Aparente} = CA = \alpha + \beta - \chi - \delta - \varepsilon \quad (4)$$

Neste trabalho, no entanto, será utilizado o consumo direto dos setores em estudo, com o objetivo de representar as emissões específicas dos segmentos estudados. Deste modo, serão utilizados o consumo dos principais combustíveis utilizados na produção industrial e o consumo total de cada setor analisado. Estes dados podem ser encontrados no Balanço Energético Nacional (BEN).

3.1.2 - Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum

Para converter o consumo aparente de cada combustível, medido na sua unidade original, para uma unidade comum de energia, deve-se multiplicar o consumo aparente pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI). É utilizado o PCI do combustível ao invés do seu poder calorífico superior (PCS), uma vez que os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível. A unidade comum de energia adotada pelo IPCC é o terajoule (TJ) (MCT, 2006).

As quantidades dos combustíveis são expressas pelo BEN em toneladas equivalentes de petróleo (tep), tendo como base os seus PCSs. Para converter os valores do BEN para terajoules, conforme recomendação do IPCC (1996), deve-se usar a seguinte expressão:

$$\text{Fator de Conversão} = 45,217 * 10^{-3} * \text{Fator de correção} \quad (5)$$

Onde o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (MCT, 2006).

3.1.3 - Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível

Os fatores de emissão de carbono representam a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia (MCT, 2006). Os valores de emissão de carbono utilizados neste trabalho encontram-se na Tabela 10. Estes valores foram coletados do MCT (2006), que utiliza os valores recomendados pelo IPCC (1996), considerando algumas exceções.

Tabela 10 - Fatores de emissão de carbono empregados

Identificação	Combustível	Fator de emissão
Fósseis líquidos	Petróleo	20
	Líquidos de gás	17,2
	Gasolina	18,9
	Querosene de aviação	19,5
	Querosene iluminante	19,6
	Óleo diesel	20,2
	Óleo combustível	21,1
	GLP	17,2
	Nafta	20
	Asfalto	22
	Lubrificantes	20
	Coque de petróleo	27,5
	Gás de refinaria	18,2
	Outros produtos secundários de petróleo	20
	Outros produtos não energéticos de petróleo	20
Fósseis sólidos	Carvão metalúrgico	25,8
	Carvão vapor	25,8
	Alcatrão	25,8
	Coque	29,5
Fósseis gasosos	Gás natural (seco)	15,3
Outras Primárias	Outras primárias fósseis	20
Biomassa sólida	Lenha queima direta	29,9
	Lenha carvoejamento	29,9
	Bagço de cana	29,9
	Resíduos vegetais	29,9
	Carvão vegetal	29,9
Biomassa líquida	Caldo de cana	20
	Melaço	20
	Álcool anidro	14,81
	Álcool hidratado	14,81
	Lixívia	20
Biomassa Gasosa		30,6

Fonte: MCT (2006)

3.1.4 - Determinação da Fração de Carbono Estocado ou Fixado

Parte do combustível consumido no país, ao invés de se destinar ao setor energético, é utilizado como matéria-prima na produção de produtos não energéticos, como

asfalto e plásticos, onde, segundo a denominação do IPCC, o carbono se torna “fixado” ou “estocado”. Este deve ser subtraído do consumo aparente para o cálculo efetivo do consumo energético (SIMÕES, 2006).

Segundo o IPCC (1996), o carbono estocado para cada combustível é determinado estimando a quantidade de combustível de uso não energético e multiplicando pelo fator de conversão, para fornecer o combustível estimado em TJ. Em seguida, calcula-se o teor de carbono, multiplicando o combustível estimado (TJ/tep) pelo fator de emissão (t C/TJ) e dividindo por 10^3 para expressar a quantidade em Gg C. Por fim, deve-se multiplicar o teor de carbono pela fração de carbono estocada.

No presente trabalho, entretanto, será utilizado como referência o consumo de fontes de energia dos setores estudados divulgados pelo BEN (2012), no qual todo combustível é considerado de uso energético. Logo, o único valor relevante para o cálculo das emissões será do carbono não oxidado, explicado na etapa seguinte.

3.1.5 - Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível

O carbono disponível para ser emitido na combustão é representado pela diferença entre o carbono contido no consumo aparente de combustível e aquele estocado em produtos não energéticos. Porém, parte desse carbono não será oxidada, uma vez que, na prática, a combustão é incompleta, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos (MCT, 2006).

Levando isso em consideração, no método do IPCC, deve-se, no cálculo das emissões reais, multiplicar o carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão.

A fração de carbono oxidada será a recomendada pelo IPCC (1996): 0,98 para carvões, 0,99 para o petróleo e seus derivados, 0,995 para o gás natural. Para as demais fontes energéticas a fração de carbono oxidada será a mesma utilizada pelo MCT (2006).

Na versão de 1995, o *Workbook* do IPCC (IPCC, 1995, v.2, pg.1.12) apresenta a tabela I-5 com valores para a fração oxidada de biomassa e que foram utilizados nos cálculos das emissões de CO₂ da lenha (0,87), dos resíduos vegetais (0,88) e do carvão vegetal (0,88). Utilizamos o fator dos combustíveis fósseis líquidos (0,99) para os combustíveis líquidos de biomassa (MCT, 2006, p. 67).

3.1.6 - Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂

A conversão para emissões de CO₂ em termos da quantidade de carbono liberada na queima de combustível é obtida multiplicando-se as emissões em termos de carbono por 44/12. Onde 44 é o peso molecular do CO₂ e 12 é o peso atômico do carbono (C).

3.2 - Análise Envoltória de Dados

A técnica Análise Envoltória de Dados (DEA) tem sido empregada com sucesso para avaliar o desempenho relativo de um conjunto de firmas, usualmente conhecidas como *Decision Making Units* (DMUs), que utilizam as mesmas entradas para produzir as mesmas saídas (RAMANATHAN, 2006). A DEA teve origem nos trabalhos de Charnes *et al.* (1978) e de Banker *et al.* (1984), sendo ambos baseados em Farrel (1957), que propôs um modelo empírico para medir a eficiência relativa. Segundo Farrel (1957), é mais recomendável determinar a eficiência de uma firma, ou de uma unidade administrativa, comparando-a com o melhor nível de eficiência até então observado, do que compará-la com algum ideal inatingível.

Sendo assim, a DEA avalia a eficiência relativa de um conjunto de DMUs, que neste trabalho representam os principais setores industriais do Brasil durante os anos de 1996 a 2010. Esta abordagem tem a vantagem de considerar, simultaneamente, múltiplas entradas e saídas que caracterizam um determinado processo produtivo. Além disso, a DEA permite às DMUs terem informação imediata sobre os seus, respectivos, *status* de eficiência ou ineficiência, que dependerão, por sua vez, do modelo DEA adotado (OGGIONI *et al.*, 2011). Cada modelo, dependendo do tipo de retorno à escala, do formato da fronteira e da orientação escolhida, irá conduzir a eficiência a um valor diferente, que deve ser interpretado de acordo com as hipóteses referentes ao modelo utilizado (MARIANO, 2008).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978), desenvolveram o primeiro modelo matemático para a DEA, chamado CCR, que adotava a hipótese de Retornos Constantes de Escala (CRS) ao longo de toda a fronteira de produção. Ter retornos constantes de escala significa adotar a hipótese de que os *inputs* e *outputs* são proporcionais entre si, o que faz com

que o formato da fronteira de eficiência do modelo CCR seja uma reta com um ângulo de 45° . O modelo CCR calcula a eficiência de uma DMU dividindo sua produtividade pela produtividade da DMU mais produtiva de um determinado conjunto, sem se preocupar com a escala.

A extensão do modelo CCR, proposta por Banker, Charnes e Cooper, em 1984, formulou o chamado modelo BCC, que apresenta Retornos Variáveis de Escala (VRS). O modelo BCC propõe comparar apenas DMUs que operem em uma escala semelhante. Assim, neste modelo, a eficiência de uma DMU é obtida dividindo-se sua produtividade pela maior produtividade entre as DMUs que têm o mesmo tipo de retorno de escala que ela. A fronteira do modelo BCC é composta de um conjunto de retas de ângulos variados, o que caracteriza uma fronteira linear por partes.

De acordo com Coelli *et al.* (1998) os modelos CCR e BCC podem apresentar duas orientações: para a maximização dos *outputs* ou para a minimização dos *inputs*. Quando se trabalha com modelos Aditivos, que foram desenvolvidos por Charnes *et al.*, em 1985, porém, não é necessário escolher uma orientação, pois o próprio modelo original já considera, simultaneamente, a maximização dos *outputs* e a minimização dos *inputs*, sendo que o modelo Aditivo proporcionará a situação em que a DMU deverá fazer menos esforço, em termos de redução de *inputs* e aumento de *outputs*, para atingir a eficiência. Vale ressaltar que os modelos aditivos podem ser do tipo Variante, com Retornos Variáveis de Escala, ou Invariante, com Retornos Constantes de Escala.

No entanto, segundo Shimonishi (2005), o modelo Aditivo não permite calcular o índice de eficiência das DMUs que estão sendo comparadas, permite apenas indicar as DMUs eficientes e as metas das DMUs ineficientes. Logo, a interpretação dos resultados do modelo Aditivo deve ser realizada de forma um pouco diferente dos modelos BCC e CCR, em que 100% indica uma DMU eficiente. No modelo Aditivo, o valor da função objetivo representa a distância da DMU à fronteira eficiente. Logo, a DMU em análise é eficiente quando o resultado da função objetivo é igual a zero, de modo que quanto mais afastado de zero for o resultado, mais ineficiente é a DMU.

Devido a essa limitação do modelo Aditivo, foram propostos alguns aprimoramentos ao mesmo, dos quais se destaca o modelo SBM (*Slacks-Based Measure*). Este modelo, que foi introduzido por Tone (2001), é bastante semelhante ao modelo aditivo, já que também considera uma orientação simultânea aos *inputs* e aos *outputs*, mas fornece, como resultado, um valor de eficiência que varia de zero até 100%. Deste modo, os resultados

deste modelo, apesar de partirem dos mesmos pressupostos do modelo aditivo, podem ser interpretados de maneira semelhante aos resultados dos modelos CCR e BCC.

Para a realização deste trabalho, observa-se que a orientação, simultânea, para minimização dos *inputs* e maximização dos *outputs* é a mais adequada, uma vez que o objetivo, do ponto de vista da sustentabilidade, é diminuir o consumo energético e as emissões de CO₂ e, simultaneamente, aumentar o número de pessoas ocupadas, os gastos com pessoal e o PIB setorial, ou seja, diminuir os impactos ambientais e aumentar os benefícios sociais e o crescimento econômico.

Vale ressaltar que o modelo SBM variante foi escolhido para este estudo, pois permite comparar setores que operam em escalas diferentes, o que implica que reduções ou aumentos nos *inputs* não necessariamente geram alterações na mesma proporção, nos *outputs*. As expressões 6 a 11 apresentam o modelo SBM variante, de acordo com Tone (2001):

$$\text{Min } \tau = t - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j / x_{j0} \quad (6)$$

Sujeito a:

$$1 = t + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i / y_{i0} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k + S_j = t \cdot x_{j0}, \text{ para } j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k - S_i = t \cdot y_{i0}, \text{ para } i=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^z \lambda_k = t \quad (10)$$

$$\lambda_k, S_j \text{ e } S_i \geq 0 \text{ e } t > 0 \quad (11)$$

Em que:

λ_k : Participação da DMU k na meta da DMU em análise;

x_{jk} : Quantidade do *input* j da DMU k;

y_{ik} : Quantidade do *output* i da DMU k;

x_{j0} : Quantidade do *input* j da DMU em análise;

y_{i0} : Quantidade do *output* i da DMU em análise;

z: Número de unidade em avaliação;

m: Número de *outputs*;

n: Número de *inputs*;

S_i : Variável de folga do *output* i;

S_j : Variável de folga do *input* j;

t: Variável de ajuste linear

É importante mencionar que além de permitir mensurar o desempenho relativo dos setores industriais selecionados, este método, também permitiu obter as folgas, que expressam o quanto cada setor deve aumentar ou diminuir de cada variável, para atingirem a eficiência em relação aos outros setores. A folga expressa o quanto o desempenho atual da DMU se encontra afastado, em cada variável, de seu desempenho ideal, que pode ser simbolizado por uma DMU virtual que se encontra sobre a fronteira de eficiência (também chamada de *benchmark*). Esse desempenho ideal pode ser considerado uma meta para as DMUs ineficientes, que pode ser calculada conforme as expressões 12 e 13:

$$\text{Meta input} = x_{j0} - S_j \text{ to } j=1,2,\dots,n \quad (12)$$

$$\text{Meta output} = y_{i0} + S_i \text{ to } i=1,2,\dots,m \quad (13)$$

A partir do desempenho atual e da meta, é possível determinar a folga relativa, que expressa percentualmente o nível de melhoria necessário para cada variável de cada setor. A folga relativa pode ser determinada a partir da expressão 14:

$$\text{Folga relativa} = (\text{Meta} - \text{Atual}) / \text{Atual} \quad (14)$$

Como pode ser notado, as folgas relativas aos *inputs* serão negativas, o que indica que as variáveis devem ser diminuídas, e as folgas relativas aos *outputs* serão sempre positivas, o que indica que as variáveis devem ser aumentadas

Vale salientar que a ideia de porcentagem da meta em relação ao real foi introduzida por Hu e Wang (2006) para medir a eficiência energética. A partir daí, um número crescente de estudos, que vem sendo desenvolvidos em economias como USA (Mukherjee, 2008), Japão (Honna e Hu, 2008), China (Wang et al, 2013; Wang et al, 2012; Wu et al, 2012; Watanabe e Tanaka, 2007), Índia (Mukherjee, 2010), entre outros, tem contribuído para a

medição da eficiência de energia, em que múltiplas entradas de energia e outros materiais e recursos são utilizados para a produção de múltiplas saídas.

No presente trabalho, além de considerar a folga da variável “consumo energético”, foram analisadas as folgas de todas as outras variáveis consideradas na análise. A partir da elaboração de tabelas que incorporaram os resultados das folgas relativas, encontradas a partir da análise de janelas do modelo DEA-SBM, foi possível identificar, entre as variáveis consideradas, àquelas que apresentam maior distanciamento da fronteira de eficiência.

Análise de Janela

Uma das formas de se incluir o fator tempo dentro da técnica DEA é por meio da realização da análise de janela, explicado em Cooper *et al.* (2000). A análise de janela consiste em um método estruturado para se misturar, em uma mesma aplicação, dados de DMUs referentes a diversos anos diferentes, sendo que isso é feito por meio da realização de múltiplas aplicações da DEA, considerando diferentes combinações de anos (janela). Sendo assim, pode-se concluir que a análise de janela é também um importante meio para se contornar o problema da baixa quantidade de DMUs, que segundo Cooper *et al.* (2000), deve ser, no mínimo, o triplo da soma da quantidade de *inputs* com a quantidade de *outputs*.

A análise de janela compreende, assim, a separação dos anos que estão sendo analisados em diferentes grupos (janelas), sendo que, a partir dos dados disponíveis, é determinado o tamanho de cada janela e o número de janelas a ser construído. Essas duas informações podem ser obtidas por meio das Expressões 15 e 16, em que k representa o número de períodos e p o tamanho da janela, que deve ser arredondado para cima, quando necessário.

$$Tamanho_da_janela_ (p) = (K + 1) / 2 \quad (15)$$

$$Quantidade_de_janela = k - p + 1 \quad (16)$$

Para exemplificar o uso destas fórmulas e a posterior construção das janelas, segue-se o caso deste trabalho, que tem disponíveis os dados de 1996 a 2010 ($k=15$), o tamanho da janela, portanto, é 8. Já a quantidade de janelas é 8, que engloba, respectivamente, dados de: (a) 1996 a 2003; (b) 1997 a 2004; (c) 1998 a 2005; (d) 1999 a 2006; (e) 2000 a 2007; (f) 2001 a 2008; (g) 2002 a 2009 e (h) 2003 a 2010.

Após terem sido construídas todas as janelas, a DEA deve ser aplicada em cada uma para que, posteriormente, possa ser montada uma tabela que incorpore os resultados obtidos para cada unidade em cada janela (ver como exemplo as Tabelas 13, 14, 15, 16, 19, 20 e 21 do Capítulo 4). Vale ressaltar que, nessa abordagem, o resultado final da eficiência de cada DMU deve ser a média das eficiências obtidas em todos os anos e em todas as janelas, sendo que também pode ser calculado o desvio padrão de cada DMU, para testar a estabilidade de sua eficiência no tempo.

Neste trabalho, além das tabelas incorporando os resultados dos desempenhos dos setores industriais obtidos em cada janela, também, foram elaboradas tabelas que incorporaram os resultados das folgas, de cada variável, para cada DMU em cada janela. Da mesma forma, o resultado final da folga de cada variável para cada DMU foi a média das folgas obtidas em todos os anos e em todas as janelas.

Deste modo, foi possível identificar o quanto cada variável, de cada setor, deveria ser, em média, alterada, possibilitando o aumento do desempenho deste setor em relação aos demais. Se essa alteração for possível, e de fato acontecer nas proporções indicadas, significará que o setor terá o desempenho igual ao melhor nível de desempenho observado na análise.

É importante registrar que, além da análise de janela, o Índice *Malmquist*, também, permite a introdução de uma dimensão temporal na DEA, criando um modelo dinâmico. Este índice, que, segundo Mariano (2008), pode ser classificado como um modelo da técnica dos Números Índices, permite calcular a eficiência relativa de uma DMU em relação a ela mesma no passado, sendo possível, assim, comparar a mesma DMU em dois períodos de tempos.

Neste trabalho, no entanto, optou-se pela utilização da análise de janela, uma vez que, para a utilização do Índice *Malmquist*, seria necessário realizar a análise DEA para cada ano do painel, separadamente, e, neste caso, o número de DMUs, que, como já comentado, deve ser, no mínimo, o triplo da soma da quantidade de *inputs* com a quantidade de *outputs*, seria insuficiente para esta análise.

3.3 - Fases do trabalho

Considerando o objetivo e o método adotado para este trabalho, pode-se dividi-lo em sete etapas principais: (1) Revisão bibliográfica; (2) Coleta de dados; (3) Análise de desempenho; (4) Seleção dos setores industriais; (5) Elaboração de inventários; (6) Discussão sobre as políticas públicas considerando os resultados dos inventários de emissão; e (7) Análise e apresentação dos resultados, representadas pela Figura 8.

Figura 8 - Inter-relações entre as etapas de trabalho

Destaca-se que a etapa de revisão bibliográfica foi realizada durante todo o projeto. Esta etapa tem como objetivo o embasamento teórico necessário para a condução da pesquisa e, também, pretende levantar os programas, medidas e direcionamentos do governo que podem contribuir para diminuir a emissão de CO₂ devido ao consumo de energia. Além disso, por meio da fundamentação teórica, busca-se caracterizar o atual e futuro cenário energético brasileiro. Sendo assim, é realizada a revisão bibliográfica dos temas desenvolvimento sustentável e cenário energético brasileiro. Esta etapa consta no Capítulo 2.

A etapa de coleta de dados consiste em uma etapa intermediária que tem o objetivo de obter os dados necessários para a aplicação do método DEA, o qual permitiu a análise do desempenho dos setores industriais; e os dados para a quantificação das emissões de CO₂ dos energéticos utilizados pelos setores estudados, o que permitiu a elaboração dos inventários de emissão.

A etapa de análise de desempenho deve determinar, por meio da DEA, quais são os setores com menor desempenho, considerando os anos de 1996 a 2010, no contexto de energia e desenvolvimento sustentável. Esta etapa consta no item 4.2.

A partir dos resultados da etapa anterior, parte-se para a etapa de seleção dos setores industriais, que deve definir quantos e quais setores industriais terão os seus processos produtivos e combustíveis analisados, além de identificar seus potenciais substitutos energéticos, que serão utilizados, posteriormente, como referência para a análise das reduções das emissões de CO₂. Esta etapa consta no item 4.2.

O próximo passo é a mensuração das emissões de CO₂ considerando as fontes atualmente utilizadas e alterações hipotéticas da matriz energética dos setores industriais selecionados pelos possíveis substitutos dessas fontes. Esta etapa consta no item 4.3 e no item 4.4.

Após a elaboração dos inventários, parte-se para a etapa de discussão das políticas públicas considerando os resultados dos inventários de emissão. Nesta etapa, foi discutido sobre as políticas, medidas, leis e programas governamentais relacionados com a fonte de energia que melhor contribui para a redução da emissão de CO₂ pelos setores industriais analisados. Os resultados desta etapa constam no item 4.5.

Por fim, a etapa de análise e apresentação dos resultados deve realizar a análise do projeto e elaborar os relatórios científicos com os resultados parciais e finais da pesquisa, bem como a publicação de artigos científicos.

Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresentará os resultados encontrados para o objetivo do presente trabalho, que foi analisar o desempenho dos principais setores industriais brasileiros considerando seus respectivos consumos energéticos e contribuições para aspectos sociais e econômicos do país, a partir da aplicação do método proposto. Serão apresentados os resultados de cada uma das etapas realizadas para atingir o objetivo proposto no presente trabalho: Análise dos *Inputs* e *Outputs*, Análise de Desempenho, Caracterizações dos processos produtivos e apresentação dos inventários de emissão elaborados para os setores industriais selecionados e Discussão das políticas públicas voltadas para o energético que melhor contribui para a diminuição das emissões dos setores industriais analisados.

4.1 - Análise dos *Inputs* e *Outputs*

Primeiramente, a fim de verificar se a “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” e o “consumo energético” contribuíram para a formação das variáveis de *output* selecionadas para a análise de desempenho dos setores industriais brasileiros, foi realizada uma análise estatística. Desta forma, construiu-se uma matriz de correlação com o intuito de verificar a associação linear entre todas as variáveis com suas respectivas significâncias estatísticas. Vale mencionar que o *software* utilizado para realizar tal análise foi o Stata MP 9.2.

É importante mencionar que a significância estatística das variáveis é refletida deve ser o mais próximo de zero, caso se deseje rejeitar a hipótese nula. Desse modo, ao nível de confiança de 90%, por exemplo, é possível dizer que uma variável é estatisticamente significativa caso o p-valor apresente valor inferior a 0,1; passando desse

valor a variável pode ser considerada insignificante. A Tabela 11 apresenta a matriz de correlação construída.

Tabela 11 – Matriz de Correlação

	Consumo energia	Emissões CO ₂	PIB setorial	Pessoas ocupadas	Gastos pessoas
Consumo energia	1,0000				
p-valor					
Emissões CO₂	0.7092	1,0000			
p-valor	0,0000				
PIB setorial	0.4967	0.1698	1,0000		
p-valor	0,0000	0,0834			
Pessoas ocupadas	0.4519	-0.2253	0.5870	1,0000	
p-valor	0,0000	0.0208	0,0000		
Gastos pessoas	0.5155	-0.0113	0.6122	0.8248	1,0000
p-valor	0,0000	0.9092	0,0000	0,0000	

Como é possível observar, todas as variáveis de *inputs* foram significativas em relação às variáveis de *output*, e vice-versa, com p-valor abaixo de 10%, com exceção da variável “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” em relação à variável “gastos com pessoal”.

Vale ressaltar, no entanto, que, apesar do p-valor da variável “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis” ter sido elevado para a variável “gastos com pessoal”, julgou-se interessante incluí-la na DEA, com o intuito de incorporar na análise os três pilares básicos do tripé da sustentabilidade, já que a mesma é uma variável ambiental. Além disso, esta variável mostrou-se com correlação moderada e significativa com relação ao “PIB setorial” e “pessoas ocupadas”.

Da mesma forma, a variável “gastos com pessoal”, também, mostrou-se significativa e com correlação com a variável “consumo energético”, justificando sua inclusão na DEA. Vale ressaltar, ainda, que, segundo Paz, Silva e Rosa (2007), a adoção do conceito de sustentabilidade tem como um dos principais objetivos alcançar uma maior equidade na distribuição de renda. Neste sentido, esta variável, em conjunto com o número de pessoas ocupadas em cada setor, é uma tentativa de conduzir para este enfoque, apesar de não medir a existência ou não de equidade na distribuição de renda.

Para a realização deste trabalho, também, foi considerado o fato das variáveis de *inputs* e *outputs* não serem totalmente independentes. No caso das variáveis de *inputs*, o consumo de fontes fósseis é uma informação considerada tanto na variável “Consumo energético”, como na variável “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”. Portanto, há um viés para setores nos quais o consumo energético de fontes fósseis é mais alto, já que para elas qualquer redução de consumo energético sugerida pela DEA acabará, também, gerando automaticamente uma redução de CO₂, e isso não poderá ser considerado na análise. Esse viés acabará penalizando os setores que possuem uma matriz energética mais dependente de fontes fósseis de energia, sendo que a sua distância até a fronteira calculada pela DEA seria maior do que a real.

No entanto, foram realizados testes com a DEA, apresentados de forma mais detalhada no Apêndice A, considerando a exclusão de cada uma das variáveis da análise, e constatou-se que tanto as variáveis de *input*, assim como todas as de *output*, fornecem informações importantes e complementares para o objeto de estudo deste trabalho. Para as variáveis de *input* a variável “emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” leva em conta qual é a composição da matriz energética do setor, já que em seu cálculo são atribuídos pesos diferentes para a energia proveniente de cada fonte, baseado no quanto cada fonte fóssil polui, não considerando as emissões geradas por fontes renováveis. Sendo assim, o principal motivo dessa variável ter sido incluída na análise é porque ela pode mensurar o impacto da substituição de fontes de energia fósseis por outras mais limpas. A variável “consumo energético”, por outro lado, soma todo o consumo de energia, inclusive o proveniente de fontes renováveis, sem fazer nenhuma diferenciação pela fonte. Deste modo, considerando que as fontes ditas limpas também possuem algum impacto ambiental, é igualmente importante que, além da substituição de fontes fósseis por fontes mais limpas, se reduza o consumo energético como um todo; logo, é interessante que essa variável também seja incluída na análise.

4.2 - Análise de Desempenho

A partir da aplicação do modelo SBM variante da DEA e da análise de janela, foi possível verificar o desempenho dos setores industriais durante os anos de 1996 a 2010,

considerando tanto a diminuição dos *inputs* “consumo energético” e “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis”, quanto o aumento dos *outputs* “PIB setorial”, “pessoas ocupadas” e “gastos com pessoal”.

Como explicado, para esta análise, foi calculado o número total de oito janelas, cada uma com oito amplitudes. De acordo com os resultados encontrados, o setor Têxtil foi o que apresentou o maior desempenho médio em relação às variáveis consideradas, seguido, conforme a Tabela 12, dos setores: Alimentos e Bebidas, Químico, Extrativo Mineral, Papel e Celulose, Não Metálicos e Metalúrgico.

Quanto ao desvio padrão do desempenho, expresso na Tabela 12, o maior valor foi o do setor Extrativo Mineral, seguido dos setores: Química, Alimentos e Bebidas, Têxtil, Não Metálicos, Papel e Celulose, e Metalúrgico.

Tabela 12 – *Ranking* de Desempenho dos Setores Industriais

Desempenho sustentável dos setores			
<i>Ranking</i>	Setor	Média	Desvio Padrão
1	Têxtil	94,49%	8,07%
2	Alimentos e Bebidas	91,85%	9,91%
3	Química	80,21%	15,68%
4	Extrativo Mineral	38,89%	24,66%
5	Papel e Celulose	15,37%	3,10%
6	Não Metálicos	11,22%	4,03%
7	Metalúrgico	8,41%	1,50%

Assim, o setor metalúrgico, considerando as variáveis analisadas neste trabalho, apresenta-se como o último no *ranking* de desempenho (8,41%) e com a menor variabilidade, igual a 1,50%. Deste modo, a partir da Tabela 13, é possível verificar que apesar deste setor ter o desempenho inferior aos demais setores analisados do ponto de vista sustentável, ele não demonstra grandes variabilidades, indicando que o mesmo não apresentou significativas melhoras ou piores, mantendo-se em níveis parecidos de desempenho médio ao longo dos anos analisados.

Tabela 13 - Análise por Janela – Setor Metalúrgico

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Metalurgia _1996	8,5%							
Metalurgia _1997	11,3%	11,6%						
Metalurgia _1998	10,7%	11,0%	10,8%					
Metalurgia _1999	10,7%	11,0%	10,9%	10,8%				
Metalurgia _2000	5,9%	6,1%	6,8%	6,9%	7,3%			
Metalurgia _2001	6,7%	6,7%	7,4%	7,5%	8,0%	7,5%		
Metalurgia _2002	6,8%	6,5%	7,1%	7,2%	7,7%	7,2%	7,1%	
Metalurgia _2003	7,6%	7,1%	7,4%	7,6%	7,9%	7,5%	7,4%	6,1%
Metalurgia _2004		8,2%	8,4%	8,5%	8,7%	8,2%	8,1%	6,9%
Metalurgia _2005			8,5%	8,6%	8,8%	8,3%	8,2%	7,0%
Metalurgia _2006				9,3%	9,4%	8,9%	8,8%	7,5%
Metalurgia _2007					9,8%	9,3%	9,1%	7,9%
Metalurgia _2008						10,1%	9,9%	8,7%
Metalurgia _2009							10,8%	9,0%
Metalurgia _2010								11,3%
Metalurgia_Média	8,5%	8,5%	8,4%	8,3%	8,5%	8,4%	8,7%	8,0%
Média Total	8,41%							
Desvio Padrão	1,50%							

Em seguida, como o penúltimo no *ranking* de desempenho dos setores industriais brasileiros, apresenta-se o setor de Não Metálicos, sendo que, por meio da Tabela 14 é possível observar que, este setor, diminuiu o seu desempenho conforme os anos mais antigos foram sendo excluídos e os mais recentes foram sendo contemplados nas janelas, com a média dos desempenhos passando de 13,1% na primeira janela (1996-2003) para 9,9% na última (2003-2010). Da mesma forma, é possível observar, que comparativamente aos demais setores analisados, a variabilidade não foi muito alta, sendo o desvio padrão igual a 4,03%.

Tabela 14 - Análise por Janela – Setor Não Metálicos

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Não metálicos_1996	17,3%							
Não metálicos_1997	19,2%	20,9%						
Não metálicos_1998	18,2%	19,9%	22,6%					
Não metálicos_1999	15,4%	16,6%	18,7%	18,8%				
Não metálicos_2000	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%	7,7%			
Não metálicos_2001	7,4%	7,4%	7,4%	7,4%	7,6%	7,1%		
Não metálicos_2002	8,3%	7,9%	7,9%	7,9%	8,1%	7,6%	7,2%	
Não metálicos_2003	11,4%	9,0%	8,8%	8,7%	8,9%	8,3%	7,9%	6,8%
Não metálicos_2004		13,6%	12,0%	11,1%	11,0%	10,1%	9,7%	8,2%
Não metálicos_2005			12,6%	11,5%	10,1%	9,3%	9,0%	7,6%
Não metálicos_2006				14,1%	12,5%	10,9%	10,7%	8,7%
Não metálicos_2007					14,1%	12,2%	11,3%	9,3%
Não metálicos_2008						15,2%	14,4%	12,2%
Não metálicos_2009							14,5%	11,8%
Não metálicos_2010								14,9%
Não metálicos.Média	13,1%	12,9%	12,2%	10,9%	10,0%	10,1%	10,6%	9,9%
Média Total	11,22%							
Desvio Padrão	4,03%							

O terceiro no *ranking* de desempenho é o setor de Papel e Celulose, que da mesma forma que o setor de Não Metálicos, diminuiu o seu desempenho conforme os anos mais antigos foram sendo excluídos e os mais recentes foram sendo contemplados nas janelas, conforme apresentado na Tabela 15. A média dos desempenhos passou de 16,6% na janela 1 para 13,6% na janela 8. Vale ressaltar, porém, que a variabilidade desse setor, também, foi relativamente pequena quando comparado com os demais setores industriais, sendo que o desvio padrão foi de 3,10%.

Tabela 15 - Análise por Janela – Setor de Papel e Celulose

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Papel e celulose_1996	22,0%							
Papel e celulose_1997	20,7%	21,4%						
Papel e celulose_1998	17,7%	17,7%	17,9%					
Papel e celulose_1999	20,3%	21,3%	22,2%	21,9%				
Papel e celulose_2000	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%			
Papel e celulose_2001	12,9%	12,9%	12,9%	12,9%	12,9%	12,0%		
Papel e celulose_2002	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	12,1%	11,4%	
Papel e celulose_2003	14,9%	14,1%	14,1%	14,1%	14,1%	13,2%	12,4%	10,8%
Papel e celulose_2004		16,3%	16,0%	15,9%	15,9%	14,9%	13,9%	12,1%
Papel e celulose_2005			16,7%	16,2%	16,2%	15,1%	14,1%	12,3%
Papel e celulose_2006				19,3%	19,0%	17,5%	16,4%	14,2%
Papel e celulose_2007					19,6%	17,5%	16,3%	14,1%
Papel e celulose_2008						19,6%	17,9%	14,8%
Papel e celulose_2009							17,6%	14,2%
Papel e celulose_2010								15,9%
Papel e celulose_Média	16,6%	16,0%	15,5%	15,6%	15,3%	15,2%	15,0%	13,6%
Média Total	15,37%							
Desvio Padrão	3,10%							

Como o quarto setor, em desempenho, está o setor Extrativo Mineral. Este setor, como é possível observar por meio da Tabela 16, apresentou aumento do desempenho médio na medida em que os anos mais antigos foram sendo excluídos e os mais novos incluídos na análise, sendo que o desempenho médio passou de 18,8% na primeira janela para 40,0% na última. Assim, pode-se dizer que a indústria extrativa mineral tem apresentado relativas melhoras nos últimos anos, em relação às suas contribuições aos aspectos sociais, econômicos e ambientais considerados, sendo que é possível identificar, claramente, pela Tabela 16, que o salto de qualidade desse setor se deu a partir do ano de 2006. Esta rápida melhora é expressa, também, pela alta variabilidade apresentada pelo setor, tendo o maior desvio padrão, igual a 24,66%.

Tabela 16 - Análise por Janela – Setor Extrativo Mineral

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Extrativa mineral_1996	19,3%							
Extrativa mineral_1997	18,0%	18,0%						
Extrativa mineral_1998	16,5%	16,5%	16,5%					
Extrativa mineral_1999	14,6%	14,6%	14,5%	14,2%				
Extrativa mineral_2000	13,6%	13,6%	13,5%	13,2%	13,1%			
Extrativa mineral_2001	22,1%	24,9%	28,9%	30,4%	46,9%	36,8%		
Extrativa mineral_2002	21,8%	24,7%	27,9%	28,3%	43,8%	34,5%	28,4%	
Extrativa mineral_2003	24,5%	27,3%	32,5%	34,5%	52,5%	40,9%	32,3%	23,0%
Extrativa mineral_2004		28,4%	36,2%	38,9%	57,1%	43,9%	33,7%	24,1%
Extrativa mineral_2005			45,6%	54,2%	73,8%	54,5%	37,5%	26,8%
Extrativa mineral_2006				100,0%	100,0%	71,2%	44,0%	32,0%
Extrativa mineral_2007					100,0%	67,8%	44,9%	32,2%
Extrativa mineral_2008						100,0%	55,6%	41,7%
Extrativa mineral_2009							100,0%	100,0%
Extrativa mineral_2010								48,9%
Extrativa mineral_Média	18,8%	21,0%	26,9%	39,2%	60,9%	56,2%	47,0%	40,0%
Média Total	38,89%							
Desvio Padrão	24,66%							

O salto no desempenho do setor extrativo mineral a partir de 2006 se deve, sobretudo, ao crescimento mais elevado das variáveis de *output*, neste setor, quando comparado com o crescimento, destas mesmas variáveis, nos demais setores. A Tabela 17 apresenta o crescimento das variáveis consideradas na análise entre os anos de 2005 e 2006.

Tabela 17 – Crescimento das variáveis entre 2005 e 2006

Setores Industriais	Consumo Energético	Emissão de CO ₂	PIB setorial	Pessoas Ocupadas	Gastos com Pessoas
Alimentos e Bebidas	12,25%	-8,27%	2,01%	6,26%	16,16%
Extrativo mineral	3,73%	3,59%	5,27%	7,30%	18,47%
Metalurgia	-0,86%	-2,49%	-1,09%	6,73%	10,51%
Não Metálicos	6,05%	8,35%	3,31%	9,35%	15,13%
Papel e celulose	4,32%	-15,50%	3,48%	3,41%	9,53%
Química	2,73%	3,87%	0,51%	2,39%	8,97%
Têxtil	0,87%	-0,37%	-3,57%	1,74%	7,02%
Crescimento médio sem extrativo mineral	4,48%	-0,74%	0,67%	5,47%	12,23%
Crescimento médio	4,45%	-0,40%	1,43%	5,54%	12,48%

Fonte: BEN (2011), IBGE (2012)

Como é possível observar o crescimento do PIB, do número de pessoas ocupadas e dos gastos com pessoas, no setor extrativo mineral, superou o crescimento médio.

Sobre isso, o Ministério da Fazenda (2010) aponta que o setor extrativo mineral viveu uma conjuntura muito favorável, entre 2003 e 2008, devido à forte demanda sobre *commodities* minerais. Segundo relatório do Ministério de Minas e Energia (2009), no período 1970 a 2008, a participação do PIB da Mineração no PIB total do país oscilou intensamente entre o mínimo de 0,42%, em 1995, e o máximo de 1,1%, em 2006.

De acordo com o IBGE (2012), em 2006, dentre todos os subsetores da indústria a maior alta do PIB ocorreu no extrativo mineral. Este elevado crescimento se manteve nos anos seguintes. No primeiro trimestre de 2007, por exemplo, segundo a Associação Nacional dos Comerciantes de Material de Construção (ANAMACO, 2007), o PIB da indústria teve alta de 3% quando comparado com o mesmo período de 2006, sendo favorecida, novamente, pelo extrativismo mineral (com um aumento de 4,1%), onde a produção de gás e petróleo subiu 2,6% e a extração de minério de ferro cresceu 7,9%. No entanto, no primeiro trimestre de 2006, o setor extrativo mineral atingiu crescimento bem mais elevado, de 14%, quando comparado com o mesmo período do ano anterior.

Vale ressaltar que, para a análise realizada neste trabalho, o setor extrativo mineral exclui a exploração de petróleo, gás natural e carvão mineral. No entanto, as elevadas taxas de expansão verificadas na década de 2000, neste setor, resultam de elevações em volumes de produção e de preços, em especial do minério de ferro.

Além disso, neste setor, o crescimento do PIB foi acompanhado por um crescimento dos salários. A partir das contas nacionais e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad), Naercio Menezes Filho, coordenador do Centro de Políticas Públicas do Insper, calcula, em reportagem ao Valor Econômico, que, entre 1996 e 2009, o salário médio na indústria de transformação cresceu 27,3%, contra um aumento modesto da produtividade do setor, de 5,7%. Em contrapartida, o aumento de 124,4% da produtividade na indústria extrativa mineral foi acompanhado por uma valorização de 131,2% dos salários médios no setor, no mesmo período (GIFFONI, 2012).

Todavia, na última janela, em 2010, ocorreu uma queda do desempenho do setor. Da mesma forma que para os anos de 2005 e 2006, foi analisado o crescimento das variáveis entre 2009 e 2010, e, desta vez, a justificativa foi encontrada nas variáveis de *input*.

Como é possível observar na Tabela 18, o crescimento do consumo energético deste setor, acompanhado pelo crescimento das emissões de CO₂ por combustíveis fósseis, superou o crescimento total, considerando todos os setores que compõe a presente análise.

Tabela 18 - Crescimento das variáveis entre 2009 e 2010

Setores Industriais	Consumo Energético	Emissão de CO ₂	PIB setorial	Pessoas Ocupadas	Gastos com Pessoas
Alimentos e Bebidas	9%	3%	29%	5%	13%
Extrativo mineral	30%	31%	16%	7%	36%
Metalurgia	17%	19%	45%	12%	18%
Não metálicos	11%	13%	31%	9%	20%
Papel e celulose	6%	-1%	33%	-1%	4%
Química	10%	8%	36%	6%	10%
Têxtil	6%	-4%	29%	3%	15%
Crescimento médio sem extrativo mineral	11%	14%	34%	6%	13%
Crescimento médio	12%	15%	31%	6%	14%

Fonte: BEN (2011), IBGE (2012)

Em 2009, em função da crise financeira internacional, a produção de minério de ferro recuou para 310 milhões de t. Em 2008, a produção foi de 351 milhões de t e, em 2007, de 355 milhões de t (ALVARENGA, 2011). Como consequência, neste período, houve um recuo do consumo de energia neste setor.

Neste contexto, é possível observar na Tabela 4 que, com exceção do setor de alimentos e bebidas e do de papel e celulose, todos os setores industriais considerados nesta análise, entre 2008 e 2009, apresentaram recuo no consumo energético. Porém, a Tabela 17 mostra que o setor extrativo mineral, entre 2009 e 2010, devido a sua rápida recuperação frente à crise, favorecido pela disparada dos preços das *commodities*, apresentou um crescimento do consumo de energia, para acompanhar o aumento da produção, muito superior aos demais setores. Como a análise de desempenho realizada avalia o desempenho dos setores em minimizar os *inputs* e maximizar os *outputs*, o elevado consumo energético e as elevadas emissões de CO₂, em 2010, prejudicaram o desempenho deste setor.

Já com relação ao setor químico, além de ter apresentado um bom nível de desempenho médio, sendo o terceiro no *ranking*, o mesmo também apresentou uma grande variabilidade ao longo dos anos, com desvio padrão de 15,68%, o que pode ser confirmado pela Tabela 19. Um dado importante a ser considerado na análise dos resultados desse setor é o fato de que, apesar do mesmo ter, de maneira geral, diminuído o desempenho médio de janela para janela, os últimos anos de cada janela sempre se apresentaram com desempenho de 100%, o que demonstra que o setor tem apresentado expressivas e rápidas melhoras, a ponto do ano mais recente da janela ser sempre melhor do que os anteriores.

Tabela 19 – Análise por Janela – Indústrias Químicas

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Química_1996	100,0%							
Química_1997	76,6%	84,7%						
Química_1998	100,0%	100,0%	100,0%					
Química_1999	77,6%	84,7%	89,1%	100,0%				
Química_2000	61,0%	57,2%	60,2%	61,1%	69,7%			
Química_2001	68,3%	61,5%	59,0%	58,8%	64,5%	55,8%		
Química_2002	72,6%	67,5%	67,5%	67,6%	75,0%	62,9%	60,8%	
Química_2003	100,0%	97,9%	90,7%	92,2%	100,0%	75,9%	74,1%	57,2%
Química_2004		100,0%	90,4%	90,1%	90,9%	75,1%	73,4%	56,8%
Química_2005			100,0%	98,8%	95,7%	78,3%	76,8%	59,1%
Química_2006				100,0%	94,8%	78,4%	76,8%	59,4%
Química_2007					100,0%	82,3%	81,4%	62,2%
Química_2008						100,0%	100,0%	73,9%
Química_2009							100,0%	86,9%
Química_2010								100,0%
Química_Média	82,0%	81,7%	82,1%	83,6%	86,3%	76,1%	80,4%	69,4%
Média Total	80,21%							
Desvio Padrão	15,68%							

Da mesma forma que o setor Químico, o setor de Alimentos e Bebidas, conforme ilustrado pela Tabela 20, apresentou a terceira maior variabilidade em relação ao desempenho médio (desvio padrão de 9,91%). Este setor, assim como o Químico, apresentou significativas e rápidas melhoras nos últimos anos, o que pode ser corroborado pelo fato do último ano de cada janela, sem exceções, ter se apresentado com desempenho de 100% em relação aos demais.

Tabela 20 - Análise por Janela – Setor de Alimentos e Bebidas

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	100,0%							
Alimentos e bebidas_1997	100,0%	100,0%						
Alimentos e bebidas_1998	92,2%	90,5%	100,0%					
Alimentos e bebidas_1999	100,0%	90,9%	100,0%	100,0%				
Alimentos e bebidas_2000	100,0%	100,0%	75,7%	100,0%	100,0%			
Alimentos e bebidas_2001	86,7%	79,9%	75,3%	73,6%	89,1%	85,8%		
Alimentos e bebidas_2002	89,7%	83,0%	77,7%	75,8%	100,0%	100,0%	77,2%	
Alimentos e bebidas_2003	100,0%	91,1%	84,5%	81,7%	86,0%	85,5%	80,6%	63,4%
Alimentos e bebidas_2004		100,0%	92,8%	91,4%	100,0%	100,0%	100,0%	70,0%
Alimentos e bebidas_2005			100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	76,4%
Alimentos e bebidas_2006				100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	82,1%
Alimentos e bebidas_2007					100,0%	92,2%	90,8%	79,8%
Alimentos e bebidas_2008						100,0%	100,0%	87,0%
Alimentos e bebidas_2009							100,0%	100,0%
Alimentos e bebidas_2010								100,0%
Alimentos e bebidas_Média	96,1%	91,9%	88,3%	90,3%	96,9%	95,4%	93,6%	79,8%
Média Total	91,85%							
Desvio Padrão	9,91%							

Por fim, o setor que se apresentou com o maior desempenho médio em diminuir os *inputs* e aumentar os *outputs*, considerados neste trabalho, foi o Têxtil. Esse setor, conforme a Tabela 21, apresentou elevado desempenho médio em todas as janelas. Vale ressaltar que os anos em que esse setor mais se destacou, com desempenho de 100%, em várias janelas, foram os de 1999, 2001, 2003 e 2009.

Tabela 21 - Análise por Janela – Setor Têxtil

Setor_Ano	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Têxtil_1996	100,0%							
Têxtil_1997	100,0%	100,0%						
Têxtil_1998	94,8%	94,8%	100,0%					
Têxtil_1999	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%				
Têxtil_2000	81,9%	81,3%	81,4%	80,9%	100,0%			
Têxtil_2001	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%		
Têxtil_2002	86,9%	86,7%	86,7%	86,4%	90,1%	85,2%	88,3%	
Têxtil_2003	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Têxtil_2004		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	84,8%	77,9%
Têxtil_2005			100,0%	98,8%	98,8%	90,6%	84,5%	75,1%
Têxtil_2006				100,0%	100,0%	91,6%	86,3%	74,8%
Têxtil_2007					100,0%	100,0%	100,0%	76,1%
Têxtil_2008						100,0%	100,0%	82,6%
Têxtil_2009							100,0%	100,0%
Têxtil_2010								100,0%
Têxtil_Média	95,4%	95,3%	96,0%	95,8%	98,6%	95,9%	93,0%	85,8%
Média Total	94,49%							
Desvio Padrão	8,07%							

Além de verificar o desempenho, do ponto de vista sustentável, de cada setor, também, procurou-se analisar, neste trabalho, o desempenho relativo de cada variável nos setores. Para isso, foi realizada uma análise das folgas, fornecidas pela DEA.

Da mesma forma que na análise de desempenho, nesta análise, também, foram elaboradas tabelas que incorporaram os valores das folgas, para cada variável, fornecidas para cada DMU em cada janela, sendo o resultado final a média dos valores observados em todos os anos e em todas as janelas.

Deste modo, foi possível identificar o quanto cada variável, de cada setor, deveria ser, em média, alterada, possibilitando o aumento do desempenho deste setor em relação aos demais. Se essa alteração for possível e de fato acontecer nas proporções indicadas, significaria que o setor teria o desempenho igual ao melhor nível de desempenho observado na análise.

No entanto, a folga não deve ser interpretada como uma meta rígida. Os números fornecidos pelas folgas são apenas um indicativo de qual variável está sendo mais prejudicial para o desempenho deste setor em relação aos demais, do ponto de vista de produção sustentável. Esta consideração é importante, pois os setores apresentam processos produtivos diferentes entre si e, portanto, as DMUs não são totalmente homogêneas.

Logo, estudos complementares seriam necessários a fim de verificar as reais possibilidades da adoção de medidas que diminuam em módulo os valores das folgas das variáveis, de modo a aumentar o desempenho dos setores industriais.

Considerando estas ressalvas, a seguir, o Quadro 2 mostra o *ranking* dos setores para cada variável, considerando as folgas relativas, sendo que o *ranking* de número 1 indica o setor de maior percentual para a folga relativa e o de número 7 o de menor percentual.

<i>Ranking</i>	Consumo de Energia	Emissão de CO ₂	PIB setorial	Pessoas ocupadas	Gastos com pessoas
1	Papel e Celulose (-80,01%)	Metalurgia (-95,46%)	Não Metálicos (158,14%)	Metalurgia (243,55%)	Extrativa Mineral (150,74%)
2	Não Metálicos (-75,60%)	Não Metálicos (-90,57%)	Papel e Celulose (42,90%)	Extrativa Mineral (185,53%)	Metalurgia (77,28%)
3	Metalurgia (-68,53%)	Papel e Celulose (-71,06%)	Extrativo Mineral (6,52%)	Papel e Celulose (104,19%)	Papel e Celulose (29,79%)
4	Extrativo Mineral (-12,67%)	Extrativo Mineral (-44,68%)	Têxtil (2,53%)	Química (26,27%)	Alimentos e Bebidas (13,86%)
5	Alimentos e Bebidas (-1,53%)	Química (-23,34%)	Alimentos e Bebidas (1,09%)	Não Metálicos (4,09%)	Não Metálicos (12,47%)
6	Têxtil (-0,36%)	Alimentos e Bebidas (-5,99%)	Química (0,35%)	Alimentos e Bebidas (1,57%)	Química (9,47%)
7	Química (-0,0%)	Têxtil (-3,97%)	Metalurgia (0,0%)	Têxtil (1,02%)	Têxtil (8,69%)
Média	-34,10%	-47,87%	30,22%	80,89%	40,71%

Quadro 2 – *Ranking* dos setores, de acordo com a folga relativa, para cada variável.

Com relação ao setor metalúrgico, o último no *ranking* de desempenho, observa-se que os resultados indicam que, entre todos os setores analisados, é o que apresenta a maior necessidade de diminuição das emissões de CO₂ decorrentes da utilização de combustível fóssil e, também, do aumento dos gastos com pessoas para que o seu desempenho melhore comparativamente aos demais setores.

Além disso, a partir desta análise, foi possível verificar que este setor apresentou-se como *benchmarking* para a variável “PIB setorial”, ou seja, com a média da folga relativa igual a 0,0%, conforme Tabela 22. Deste modo, considerando que as demais variáveis pudessem ser alteradas nas proporções indicadas, a variável “PIB setorial” não precisaria ser modificada, pois já apresenta os melhores números, comparativamente aos demais setores, considerando os cenários apresentados. Por outro lado, este setor apresentou a maior folga relativa para a variável “Pessoas ocupadas”, seguida da variável “Emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia”.

Tabela 22 – *Ranking* das folgas para o setor Metalúrgico

Metalurgia			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Pessoas ocupadas	243,55%	459.387,92
2	Emissão de CO ₂	- 95,46%	- 48.258,03
3	Gastos com pessoas	77,28%	3.133.782,13
4	Consumo de energia	- 68,53%	- 15.499,40
5	PIB setorial	0,00%	-

A fim de melhor exemplificar a tabela apresentada, menciona-se que os resultados apresentados poderiam indicar que para o setor igualar-se aos melhores níveis de desempenho apresentados pelos setores estudados, seria necessário aumentar o número atual de empregos no setor em 243,55%, ou seja, criar 459.387,92 novos empregos; e diminuir as atuais emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia em 95,46%, ou seja, uma diminuição de 48.258,03 Gg de CO₂. No entanto, ressalta-se que estes números não devem ser interpretados como metas, sendo apenas um indicativo das variáveis, entre aquelas consideradas neste trabalho, que estão sendo prejudicadas pelo desempenho relativo deste setor, conforme explicado anteriormente.

Com relação ao setor de não metálicos, o penúltimo no *ranking* de desempenho sustentável, a variável que apresentou a maior folga relativa foi o PIB setorial, conforme apresentado na Tabela 23. Novamente, a variável “Emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia” apresentou-se com a segunda maior folga relativa no *ranking*. Estes resultados indicam que, para aumentar o desempenho relativo deste setor, ele precisaria, considerando estas variáveis, de iniciativas que refletissem, prioritariamente, no aumento do PIB setorial e na diminuição das emissões de dióxido de carbono.

Tabela 23 – *Ranking* das folgas para o setor Não Metálicos

Não Metálicos			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	PIB setorial	158,14%	4.366,06
2	Emissão de CO ₂	-90,57%	-11.791,83
3	Consumo de energia	-75,60%	-4.827,04
4	Gastos com pessoas	12,47%	359.471,99
5	Pessoas ocupadas	4,09%	12.052,20

Da mesma forma, destaca-se que apesar de apresentar baixas folgas para as variáveis “gastos com pessoas” e “pessoas ocupadas”, quando comparado com os demais

setores analisados, o setor de não metálicos apresentou, segundo o Quadro 2, a maior folga para o “PIB setorial” e a segunda maior folga para o “consumo energético” e “emissões de CO₂”. Vale mencionar que, em 2010, este setor foi o segundo setor que mais emitiu CO₂, atrás somente do setor metalúrgico, e o setor que apresentou o menor PIB setorial, neste mesmo ano.

Já o setor de papel e celulose apresentou a variável “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” apenas como a terceira variável cujo desempenho está prejudicando a colocação do setor no *ranking* de desempenho sustentável, como é possível observar na Tabela 24. A variável que precisaria de mais atenção para melhorar o desempenho deste setor em relação aos demais seria “Pessoas ocupadas”, ou seja, comparativamente aos setores de maior desempenho, o setor de papel e celulose está empregando pouco.

Tabela 24 – *Ranking* das folgas para o setor de Papel e Celulose

Papel e Celulose			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Pessoas ocupadas	104,19%	157.170,39
2	Consumo de energia	-80,01%	-5.729,59
3	Emissões de CO ₂	-71,06%	-2.774,87
4	PIB setorial	42,90%	2.025,13
5	Gastos com pessoas	12,47%	660.210,79

De acordo com a Tabela 24, a segunda variável com maior folga relativa, neste setor, foi o consumo de energia. No entanto, destaca-se que o setor de papel e celulose, para esta variável, apresenta a maior folga, entre todos os setores analisados, como é possível observar no Quadro 2, evidenciando a necessidade de medidas de eficiência energética neste setor industrial, que em 2010, foi o terceiro setor que mais consumiu energia.

Da mesma forma, o setor extrativo mineral apresenta a variável “Pessoas ocupadas” com a maior folga relativa, seguida da variável “Gastos com pessoas”. Desta forma, de acordo com esta análise, o setor extrativo mineral precisaria focar nas variáveis sociais para aumentar o seu desempenho relativo do ponto de vista sustentável. Com a terceira maior folga relativa deste setor, está a variável “Emissões de CO₂ por fontes fósseis de energia”. As folgas relativas das variáveis deste setor são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 – *Ranking* das folgas para o setor Extrativo Mineral

Extrativo Mineral			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Pessoas ocupadas	185,53%	167.890,11
2	Gastos com pessoas	150,74%	2.169.648,67
3	Emissões de CO ₂	-44,68%	-2.587,05
4	Consumo de energia	-12,67%	-266,95
5	PIB setorial	6,52%	328,99

A variável com menor folga relativa neste setor é o PIB. Este resultado corrobora com as informações encontradas que justificam o aumento de desempenho deste setor, a partir de 2006, por meio do aumento do PIB. No entanto, apesar de reportagens afirmarem que o salário, neste setor, valorizou mais que o salário médio da indústria de transformação, entre 1996 e 2009, os resultados da análise indicam que, considerando a minimização dos *inputs* e a maximização dos *outputs* considerados na análise, este setor deveria aumentar ainda mais os gastos com pessoas, para igualar-se em desempenho relativo do ponto de vista sustentável. Destaca-se que este setor apresentou a maior folga relativa, entre todos os setores analisados, para esta variável, como é possível observar no Quadro 2.

Por sua vez, o setor químico, também, apresentou a maior folga para a variável “Pessoas ocupadas”, seguida da variável “Emissões de CO₂ por combustíveis fósseis”, evidenciando a característica de produção não intensiva em mão de obra.

De acordo com os resultados, as medidas para a mitigação das emissões poderiam ocorrer por meio, principalmente, de substituições por combustíveis menos poluentes ou captura de CO₂, ao invés de medidas de eficiência energética, uma vez que este setor apresentou-se como *benchmarking* para a variável “Consumo de energia”, com a média da folga relativa igual a 0,0%, como é possível notar pela Tabela 26.

Deste modo, da mesma forma que o setor metalúrgico para a variável “PIB setorial”, se fosse possível alterar as demais variáveis do setor Químico, nas proporções indicadas, a variável “Consumo de energia” não precisaria ser modificada, pois já apresenta os melhores números, comparativamente aos demais setores, considerando todos os anos e janelas.

Tabela 26 – *Ranking* das folgas para o setor Químico

Química			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Pessoas ocupadas	26,27%	84.378,41
2	Emissões de CO ₂	-23,34%	-3.299,68
3	Gastos com pessoas	9,47%	817.021,50
4	PIB setorial	0,35%	82,21
5	Consumo de energia	0,00%	-

Também é importante destacar que a média da percentagem das folgas relativas deste setor é bastante inferior às médias das folgas dos setores apresentados até então, sendo que a maior folga é de apenas 26,27%. Isso se justifica pelo elevado desempenho do setor, sendo o terceiro no *ranking* de desempenho sustentável, necessitando, assim, de menores intervenções no processo para aumentar o seu desempenho.

Da mesma forma, o setor de alimentos e bebidas, segundo no *ranking* de desempenho sustentável dos setores, também, apresenta baixas percentagens para as folgas relativas, sendo a maior delas para a da variável “Gastos com pessoas”, seguida da folga relativa para “Emissões de CO₂ por combustíveis fósseis”, como é possível observar na Tabela 27.

Tabela 27 – *Ranking* das folgas para o setor de Alimentos e Bebidas

Alimentos e Bebidas			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Gastos com pessoas	13,86%	1.630.095,57
2	Emissões de CO ₂	-5,99%	-248,14
3	Pessoas ocupadas	1,57%	18.012,38
4	Consumo de energia	-1,53%	-259,35
5	PIB setorial	1,09%	291,35

Por fim, o setor têxtil, o primeiro no *ranking* de desempenho, não se apresentou como *benchmarking* para nenhuma variável, no entanto, também, apresenta baixas percentagens para as folgas relativas, conforme Tabela 28. O maior valor para a folga relativa é apresentado pela variável “Gastos com pessoas”, seguido, igualmente ao setor de alimentos e bebidas, pela variável “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”.

Tabela 28 – *Ranking* das folgas para o setor Têxtil

Têxtil			
<i>Ranking</i>	Variável	Média Folga Relativa	Média Folga Absoluta
1	Gastos com pessoas	8,69%	244.202,67
2	Emissão de CO ₂	3,97%	48,20
3	PIB setorial	2,53%	175,18
4	Pessoas ocupadas	1,02%	2.878,10
5	Consumo de energia	0,36%	4,18

Vale destacar, ainda, que este setor, conforme Quadro 2, das cinco variáveis consideradas na análise de desempenho, apresentou, quando comparado com os demais setores, as menores folgas para três. Além disso, não apresentou folgas relativas muito altas para as outras variáveis, que são “consumo de energia” (sexto lugar) e “PIB setorial” (quarto lugar). Estas folgas relativas pequenas justificam o elevado desempenho do setor.

De acordo com os resultados desta etapa do trabalho, é importante observar que todos os setores industriais, ainda, podem contribuir de forma significativa para o complexo desafio de promover o desenvolvimento econômico com melhorias sociais e respeito ambiental.

Porém, de acordo com a análise de desempenho, os setores que se apresentam com menor desempenho do ponto de vista sustentável são: o metalúrgico, o não metálicos, o de papel e celulose e o extrativo mineral.

Uma vez que determinado setor se apresenta com baixo desempenho em reduzir os impactos ambientais e aumentar os benefícios sociais e os econômicos, justifica-se uma intervenção no seu processo de modo a aumentar o seu desempenho.

Por meio da análise de folgas foi possível identificar em quais variáveis o impacto desta alteração no processo deve ser maior, para aumentar o desempenho, do ponto de vista sustentável, em cada setor. Como pode ser observado no Quadro 2, a média das folgas das variáveis analisadas indicam que as que relativamente precisariam de maior volume de alteração nos setores, a fim de melhorar o desempenho relativo dos mesmos, são “Pessoas ocupadas” e “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”, seguidas por: Gastos com pessoas, Consumo de energia e PIB setorial.

A partir dos resultados apresentados, também, foi possível montar uma matriz com os *rankings* das folgas relativas das variáveis, para cada setor, conforme Tabela 29.

Tabela 29 – Matriz de *ranking* das variáveis, de acordo com a folga relativa, para cada setor industrial.

	Metalurgia	Não Metálicos	Papel e Celulose	Extrativo Mineral	Química	Alimentos e Bebidas	Têxtil	Soma
Gastos com pessoas	3	4	5	2	3	1	1	19
Emissão de CO ₂	2	2	3	3	2	2	2	16
Pessoas ocupadas	1	5	1	1	1	3	4	16
Consumo de energia	4	3	2	4	5	4	5	27
PIB setorial	5	1	4	5	4	5	3	27

Convergindo com a análise anterior, nota-se que, ao somar os *rankings* que cada variável ocupou em cada setor, as variáveis “Pessoas ocupadas” e “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” apresentam-se, de uma forma geral, como as que devem receber, mais prioritariamente, atenção a fim de que medidas sejam tomadas para modificá-las, de modo a aumentar o desempenho dos setores, do ponto de vista sustentável.

Desta forma, evidencia-se a necessidade de intervenções nos processos produtivos dos setores industriais que reflitam aspectos sociais, como o número de empregos que estão sendo gerados por cada setor, e/ou na diminuição de emissões de CO₂. No entanto, para o estudo do número eficiente de empregos em cada setor, são necessárias análises complementares sobre o nível de desemprego na sociedade, o nível produtivo de cada setor e as tecnologias disponíveis.

Neste trabalho, a intervenção a ser estudada consiste na substituição energética por fontes mais limpas que, conseqüentemente, emitem menos CO₂. Desta forma, esta intervenção refletiria na variável “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis”, diminuindo este *input* da análise de desempenho realizada e, conseqüentemente, aumentando o desempenho do setor.

Analisando as folgas relativas apresentadas, é possível verificar que os maiores percentuais para alteração da variável “Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis” são dos setores metalúrgico (95,46%) e não metálicos (90,57%), respectivamente, conforme apresentado no Quadro 2.

Sendo assim, para a elaboração dos inventários de emissão das fontes de energia, neste trabalho, foram selecionados os setores de metalurgia e não metálicos, que a partir da análise realizada, se mostraram com os menores desempenhos, do ponto de vista sustentável. Apesar de estes setores apresentarem outras variáveis com maiores folgas relativas (no caso do setor metalúrgico, a variável “pessoas ocupadas”; e no caso do setor de

não metálicos, a variável “PIB setorial”), as elevadas folgas relativas em relação a variável “Emissão de CO₂ por fontes fósseis de energia”, quando comparado com os demais setores industriais (Quadro 2), sendo, em ambos os setores, a segunda variável no *ranking* de folgas relativas (Tabelas 22 e 23), evidencia que uma intervenção no processo destes setores, que venha a refletir nesta variável, pode aumentar os seus respectivos desempenhos de forma significativa.

O setor de papel e celulose e o extrativo mineral, também, se mostraram com baixo desempenho do ponto de vista sustentável, nesta análise, quando comparado com os demais. No entanto, foi possível observar, por meio da análise de folgas, que outras variáveis, se modificadas, devem alterar de forma mais significativa o desempenho destes setores, ao invés da variável relacionada às emissões de CO₂ por combustíveis fósseis de energia, que se apresenta em terceiro lugar nos respectivos *rankings* de folgas relativas destes setores (Tabelas 24 e 25, respectivamente).

No caso do setor de papel e celulose, as variáveis que se apresentam com maiores folgas são: “pessoas ocupadas” e “consumo de energia”, respectivamente. Sendo mais eficaz, desta forma, implementar medidas que reflitam nestas duas variáveis, como adotar ações que melhorem a eficiência energética, para aumentar o desempenho deste setor. Já para o setor extrativo mineral, as variáveis com as maiores folgas são “pessoas ocupadas” e “gastos com pessoal”, respectivamente. Assim, apresentam-se com maior eficácia, para aumentar o desempenho sustentável deste setor, intervenções que melhorem aspectos sociais.

Considerando isso, para representar o setor de metalurgia, foi escolhido o setor de ferro gusa e aço por apresentar maior emissão de CO₂ e o maior consumo de energia quando comparado com os demais setores que compõem a metalurgia, que são: ferros-liga e não ferrosos. Da mesma forma, o setor de cimento foi escolhido para representar o setor de não metálicos, pois, apesar de consumir menos energia que o setor de cerâmica, o primeiro consumiu 4.141×10^3 tep e o segundo 4.496×10^3 tep, em 2010, o mesmo apresenta maiores emissões de CO₂ por combustível fóssil, evidenciando uma matriz extremamente dependente de energéticos de caráter não renovável.

A fim de melhor justificar a escolha dos setores, realizou-se uma suposição, com a DEA, considerando que as emissões do setor de ferro gusa e aço e do setor de cimento fossem nulas, sem alterar as demais variáveis. Logo, as emissões totais da metalurgia e de não metálicos, apesar de não se tornarem nulas, devido à permanência das emissões dos setores de ferro ligas e não ferrosos e do setor de cerâmica, diminuiriam muito.

De acordo com os resultados da simulação, o desempenho sustentável relativo do setor de não metálicos, considerando as suposições, aumentaria de 11,22% para 20,54%. Já o desempenho do setor metalúrgico aumentaria de 8,41% para 14,55%. Diante disto, evidencia-se que uma alteração na matriz energética destes setores por fontes de energia mais limpas aumentariam o desempenho sustentável dos setores mencionados, relativamente aos demais.

A seguir, é apresentada a Figura 9, que mostra um resumo das análises realizadas nesta etapa do trabalho.

Figura 9 – Resumo da Etapa Análise de Desempenho

Os próximos passos consideram a caracterização dos setores de ferro gusa e aço e de cimento e seus respectivos inventários de emissão.

4.3 - Setor de Ferro Gusa e Aço

4.3.1 - Caracterização do setor de Ferro Gusa e Aço

O ferro pode ser encontrado na natureza na forma de óxidos, carbonatos e sulfetos. Destes, os óxidos são os minérios que possuem maior percentual de ferro em massa, sendo encontrados, principalmente, na forma de hematita (Fe_2O_3) ou de magnetita (Fe_3O_4).

Para a obtenção do ferro metálico a partir do minério de ferro, é necessário que este último sofra uma redução, ou seja, o oxigênio deve ser removido, em geral, combinando-se com o carbono (ROMEIRO, 1997).

A princípio, a maneira para obtenção de ferro ocorria, basicamente, a partir de uma mistura de minério de ferro com o carvão vegetal a sopro (ou entrada de ar natural). A queima do carvão é responsável por gerar calor e gases redutores (CO), o que permite a redução dos óxidos de ferro e a produção de uma massa sólida de ferro com baixo teor de carbono, além de escória, que é matéria prima para a fabricação de cimento. Esse material era, então, aquecido e forjado para obtenção das formas adequadas para a sua utilização (JACOMINO *et al.*, 2002).

No entanto, segundo Jacomino *et al.* (2002), com o aparecimento de leis restringindo a devastação de florestas, impostas, principalmente, pelo governo inglês, a indústria tentou utilizar o carvão mineral em substituição ao carvão vegetal. No início, as dificuldades para conseguir seu amolecimento e cozimento dentro do forno inibiam sua utilização. Contudo, com a transformação do carvão mineral em coque, foi possível utilizá-lo no alto-forno. Assim, por volta de 1708 – 1709, na Inglaterra, o primeiro ferro gusa era feito a partir do coque de carvão mineral, sendo, hoje, esta a maior fonte de energia do setor industrial de ferro gusa e aço (BEN, 2012).

Deste modo, Jacomino *et al.* (2002) afirma que para a produção do metal em alto forno, podem ser utilizados dois tipos de combustíveis, responsáveis também pelo papel de redutores: carvão vegetal ou coque. A opção pelo uso de carvão vegetal ou coque para a redução do minério de ferro é relacionada ao custo.

De acordo com o trabalho de Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008), o preço do coque é 19,0% mais baixo que o do carvão vegetal de origem nativa produzido legalmente e 29,7% que o de carvão vegetal de origem plantada. Já o preço do carvão vegetal de origem nativa produzido de forma ilegal varia entre 10 e 12% do preço do carvão vegetal produzido a partir de florestas plantadas.

Além disso, o uso do carvão vegetal, também, é menos favorecido, comparado ao carvão mineral, devido à dificuldade de precificação quanto ao retorno dos investimentos em projetos de cultivo de eucalipto, que levam sete anos do plantio até o corte (MARCOVITCH, 2009).

Apesar dessas vantagens do coque, Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008) afirmam, em contrapartida, que como não há enxofre em sua composição, o carvão vegetal

proporciona uma melhor qualidade do ferro gusa e do aço produzido aumentando, consequentemente, o preço final do produto.

Vale salientar que o Brasil é o único país que mantém uma significativa produção de ferro e aço utilizando-se o carvão vegetal como agente redutor do minério de ferro. No restante do mundo, assim como na maior parte da produção siderúrgica brasileira, utiliza-se o coque de carvão mineral, desde que, em meados do século XIX, com a crescente escassez dos recursos florestais na Europa, encontrou-se nele uma alternativa para a indústria em expansão (MCT, 2008).

Considerando isso, vale descrever melhor as etapas de produção do metal. Durante o processo de redução, no caso do carvão vegetal, os materiais carregados no alto-forno – minério de ferro, carvão vegetal e fundentes (quartzo, calcário, dolomita, etc.) – transformam-se nos produtos: ferro gusa (ou ferro de primeira fusão), escória, gás de alto-forno e poeira. A redução dos óxidos de ferro se processa à medida que a carga desce no interior do forno e os gases, resultantes da queima do carvão vegetal, sobem pela coluna de carga. Há um pré-aquecimento dos materiais e uma alteração na composição da carga. O oxigênio, que estava combinado com o ferro do minério, passa, sob a forma de óxidos de carbono, a fazer parte dos gases, deixando assim, o ferro livre. Outras reações químicas e a fusão da ganga e dos fundentes acompanham o processo e formam a escória.

Vários combustíveis podem ser injetados nas ventaneiras do alto-forno, em substituição ao carvão vegetal granulado carregado pelo topo do reator. Entre eles, estão os finos de carvão vegetal, o óleo, o alcatrão e o gás natural (JACOMINO *et al.*, 2002).

Uma vez obtido o ferro gusa, a etapa seguinte do processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos (IAB, 2012).

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc. (IAB, 2012).

Portanto, neste processo, podem ser produzidos aço ou ferro gusa, sendo diferenciados pelo teor de carbono, que no aço é de até 2% e no ferro gusa está em torno de 4% em massa (JACOMINO, 2002). No Brasil, a produção de ferro gusa ocorre em dois tipos de instalações: em indústrias que produzem exclusivamente ferro gusa, conhecidas como

guseiras e em siderúrgicas integradas ou semi-integradas onde além do ferro gusa são produzidos aço e subprodutos (UHLIG; GOLDEMBERG; COELHO, 2008).

De acordo com o Instituto de Aço Brasil (IAB, 2012), o Brasil, é o maior produtor de aço bruto da América Latina, seguido do México e da Argentina, como é possível observar pelo Gráfico 5, que ilustra a produção de aço bruto dos países da América Latina, em janeiro de 2012.

Gráfico 5 – Produção de Aço Bruto da América Latina em jan./2012 (10³ t)

Fonte: IAB (2012)

Vale ressaltar, ainda, que, segundo Jacomino *et al.* (2002), o Estado de Minas Gerais é o maior centro brasileiro de ferro gusa em unidades independentes de produção, como é possível observar pela Tabela 30. A produção se baseia, essencialmente, a partir do minério de ferro explorado no Quadrilátero Ferrífero. De acordo com este autor, a extensa produção de ferro gusa do Estado, aliado a produção de leite e derivados, ocasiona graves agressões à atmosfera e aos recursos hídricos.

Tabela 30 – Distribuição Regional da Produção (10³ t)

ESTADO	JANEIRO/FEVEREIRO – 2012			
	AÇO BRUTO	(%)	LAMINADOS E SEMIACABADOS P/ VENDAS	(%)
Minas Gerais	1.848,1	33,1	1.739,0	32,8
Rio de Janeiro	1.637,5	29,3	1.643,6	31,0
São Paulo	853,7	15,3	684,1	12,9
Espírito Santo	884,1	15,8	728,3	13,7
Outros	365,8	6,5	509,8	9,6
Total	5.589,2	100,0	5.304,8	100,0

Fonte: IAB (2012)

Porém, parte das agressões derivadas do setor de ferro gusa e aço tende a diminuir. Souza (2011) relata que uma visão que parece estar se tornando consensual, entre os produtores de Minas Gerais, é que para o setor, principalmente as usinas de ferro gusa não integradas⁴, se recuperar da crise de 2008/2009, da qual ainda sofre consequências, é necessária a aquisição e formação de florestas para que se possa garantir uma fonte sustentável de carvão.

De acordo com Souza (2011), esta visão surgiu a partir do preço alto do minério de ferro e do carvão, devido, principalmente, à demanda chinesa, que fez com que os custos do carvão aumentassem para 65% na fabricação de gusa, e os do minério representassem 20%. Em 2011, a tonelada do carvão (tipo vegetal) estava em torno de R\$ 300 e a de minério em torno de R\$ 150.

A seguir, seguem os resultados obtidos a partir da elaboração dos inventários de emissão de dióxido de carbono do setor de ferro gusa e aço.

4.3.2 - Inventários de Emissão do Setor de Ferro Gusa e Aço

O setor industrial de ferro gusa e aço possui grande representatividade no consumo de energia no país, sendo responsável por cerca de 20% do consumo final de energia do setor industrial (BEN, 2012), além de consumir elevadas quantidades de combustíveis fósseis em seus processos. A evolução no uso de combustíveis pelo setor industrial, de 2000 a 2010, é evidenciada na Tabela 31.

⁴ Aquelas que não pertencem a empresas que atuam em toda a cadeia do aço. As perspectivas são mais favoráveis para as usinas integradas, porque o custo do gusa na fabricação do aço não é tão significativo quanto é o custo do minério e do carvão para as siderúrgicas que só fabricam gusa (SOUZA, 2011).

Tabela 31 - Estrutura de Consumo do Setor Industrial - Ferro-gusa e Aço em 10³ tep

Fontes	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás Natural	781	900	911	936	1.113	1.105	1.214	1.158	866	897	981
Carvão Mineral	1.587	1.902	2.182	2.455	2.374	2.352	2.516	2.655	2.048	1.772	1.924
Óleo Diesel	22	35	36	40	44	40	14	14	14	15	32
Óleo Combustível	103	105	117	79	82	107	145	142	114	168	5
Gás Liquefeito de Petróleo	105	81	82	56	100	85	88	97	77	71	72
Nafta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Querosene	2	2	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Gás de Coqueria	891	879	972	1.037	1.016	980	1.039	1.065	1.011	1.250	1.353
Gás Canalizado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coque de Carvão Mineral	6.221	6.582	6.470	6.574	6.067	5.763	6.320	6.289	4.969	7.153	7.657
Elettricidade	1.200	1.289	1.382	1.452	1.397	1.452	1.579	1.602	1.279	1.613	1.714
Carvão Vegetal	3.439	3.561	4.057	4.902	4.804	4.636	4.775	4.679	2.724	3.372	3.789
Alcatrão / Outras Sec. Petróleo	415	392	492	413	462	464	551	528	533	134	145
Total	14.767	15.729	16.701	17.945	17.459	16.985	18.240	18.229	13.636	16.445	17.672

Fonte: BEN (2012)

Verifica-se uma tendência de crescimento no uso de energéticos pelo setor no período de 2000 a 2008. Entretanto, o ano de 2009 apresentou um recuo no consumo de combustíveis, evidenciado pela crise financeira internacional, como já comentado.

De acordo com o BEN (2012), em 2011, ano de referência no presente trabalho para a elaboração dos inventários, o setor de ferro-gusa e aço apresentou 43,3% de consumo de energia a partir do coque de carvão mineral e 10,9% a partir do carvão mineral, como ilustrado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Consumo energético do setor ferro-gusa e aço em 2011

Fonte: BEN (2012)

A partir da técnica *Top-Down*, proposta pelo IPCC, e com base no consumo de energéticos fornecidos pelo BEN (2012), procedeu-se com a quantificação das emissões atmosféricas de CO₂ no setor industrial de ferro-gusa e aço, para o ano de 2011. Vale lembrar que as emissões por eletricidade não foram consideradas nas quantificações, pois dependem da forma de geração de energia (hidráulica, térmica, nuclear, eólica, etc). Vale mencionar ainda que, para o fator de emissão do “Alcatrão / outras sec. Petróleo” foi realizada uma média entre o fator de emissão do alcatrão (25,8) e o fator de emissão de outros produtos secundários do petróleo (20).

As etapas necessárias para obtenção do resultado final foram dispostas nas Tabela 32 e Tabela 33, como apresentadas a seguir.

Tabela 32 - Etapas 1, 2 e 3 do método de quantificação das emissões de CO₂

Combustível	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Consumo (tep)	Fator de conversão (TJ/tep)	Consumo (TJ)	Fator de emissão de carbono (tC/TJ)	Conteúdo de carbono (t C)	Conteúdo de carbono (Gg C)
Gás Natural	980.540,00	0,04070	39.903,37	15,3	610.521,55	610,52
Carvão Mineral	1.924.093,08	0,04296	82.651,63	25,8	2.132.412,08	2.132,41
Óleo Diesel	32.122,75	0,04296	1.379,87	20,2	27.873,36	27,87
Óleo Combustível	5.488,82	0,04296	235,78	21,1	4.974,93	4,97
Gás Liquefeito de Petróleo	72.278,71	0,04296	3.104,81	17,2	53.402,82	53,40
Nafta	0,00	0,04296	0,00	19,0	0,00	0,00
Querosene	0,00	0,04296	0,00	19,6	0,00	0,00
Gás de Coqueria	1.352.976,08	0,04070	55.059,77	18,2	1.002.087,77	1.002,09
Gás Canalizado	0,00	0,04070	0,00	19,0	0,00	0,00
Coque de Carvão Mineral	7.657.084,77	0,04296	328.918,88	29,5	9.703.107,01	9.703,11
Eletricidade	1.714.228,77	0,04296	73.636,67	-	-	-
Carvão Vegetal	3.788.730,89	0,04296	162.749,29	29,9	4.866.203,84	4.866,20
Alcatrão/ Outras sec. petróleo	144.737,74	0,04296	6.217,38	22,9	142.377,91	142,38

Tabela 33 - Etapas 4 e 5 e 6 do método de quantificação das emissões de CO₂

Combustível	Etapa 4		Etapa 5		Etapa 6	
	Carbono estocado (Gg C)	Emissão líquida de carbono (Gg C)	Fração oxidada	Emissão de carbono (Gg C)	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)	Emissão de CO ₂ (%)
Gás Natural	-	610,52	1,00	607,47	2,23	3,4%
Carvão Mineral	-	2.132,41	0,98	2.089,76	7,66	11,8%
Óleo Diesel	-	27,87	0,99	27,59	0,10	0,2%
Óleo Combustível	-	4,97	0,99	4,93	0,02	0,0%
Gás Liquefeito de Petróleo	-	53,40	0,99	52,87	0,19	0,3%
Nafta	-	0,00	0,99	0,00	0,00	0,0%
Querosene	-	0,00	0,99	0,00	0,00	0,0%
Gás de Coqueria	-	1.002,09	1,00	997,08	3,66	5,6%
Gás Canalizado	-	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0%
Coque de Carvão Mineral	-	9.703,11	0,98	9.509,04	34,87	53,7%
Elettricidade	-	-			0,00	0,0%
Carvão Vegetal	-	4.866,20	0,88	4.282,26	15,70	24,2%
Alcatrão/ Outras sec. petróleo	-	142,38	0,98	139,53	0,51	0,8%

Reitera-se que os valores são calculados em escala anual e é considerado todo o território brasileiro. Assim sendo, foi possível elaborar o Gráfico 7, que apresenta a participação de cada combustível nas emissões de CO₂ no setor industrial de ferro-gusa e aço.

Gráfico 7 - Emissões de CO₂ por combustível no setor de ferro-gusa e aço (%)

Observa-se que, dos combustíveis mais utilizados no setor de ferro-gusa e aço, o coque de carvão mineral é o maior responsável pelas elevadas emissões atmosféricas de

CO₂ deste setor. O combustível emitiu $34,87 \times 10^6$ toneladas (t) de CO₂, correspondendo a 53,7% do total das emissões. O carvão vegetal contribui com 24,2% ($15,7 \times 10^6$ t CO₂) das emissões nacionais do setor em estudo, seguido do carvão mineral, com 11,8% ($7,66 \times 10^6$ t CO₂). A emissão total de CO₂, somadas as quantidades emitidas por todos os combustíveis utilizados, exceto pela eletricidade, foi de $64,9 \times 10^6$ t.

Vale ressaltar que, no caso de indústrias que produzem os próprios combustíveis renováveis, por meio da reposição da biomassa utilizada no processo produtivo, considera-se que não há emissões de gás carbônico. No entanto, tal característica de captura do CO₂ não foi mensurada nos cálculos efetuados.

Sendo assim, segundo o MCT (2006), as estimativas das emissões de CO₂, para o carvão vegetal, devem ser incluídas no inventário nacional de emissões do sistema energético, apenas a título de informação, sem serem adicionadas às emissões dos combustíveis fósseis. Isso porque as emissões derivadas do consumo do carvão vegetal são objeto do módulo metodológico do IPCC, Uso do Solo e Manejo Florestal, onde será determinado o balanço entre o carbono emitido pela biomassa removida e o carbono absorvido durante o crescimento de novas plantas.

Diante disto, pela análise dos resultados obtidos, sabe-se que o carvão vegetal teve amplo uso na indústria brasileira. Uma vez que o setor industrial possui tecnologia e capacidade operacional em utilizá-lo, o carvão vegetal apresenta-se com um potencial substituto renovável para os combustíveis fósseis. Uma vez que os combustíveis não renováveis, carvão mineral e coque de carvão mineral, possuem um consumo elevado e corresponderam a 65,5% das emissões de CO₂, em 2011, percebe-se que a substituição desses energéticos traria grandes modificações à quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera por este setor industrial.

Para efeito de comparação, procedeu-se com as quantificações, realizando-se suposições do consumo de energia por fonte.

Uso de um combustível para suprir toda a demanda energética

Inicialmente, será suposto que todo o consumo energético da indústria brasileira de ferro-gusa e aço seja abastecido por apenas um combustível. De acordo com BEN (2012), o consumo total para o ano de 2011 foi de 15.958×10^3 tep. Desconsiderou-se,

nesse total, o consumo por eletricidade, o qual não é o foco da pesquisa. Fixando este consumo para cada combustível utilizado na indústria (etapa 1 do método *Top-Down*), é possível estimar quanto se emitiria, caso toda a matriz energética fosse substituída por este combustível. Assim, a Tabela 34 mostra o resultado obtido para as emissões de CO₂ de cada combustível, como se este fosse utilizado como único suprimento para toda a demanda energética do setor.

Tabela 34 - Emissões de CO₂ considerando consumo total do setor por apenas um combustível

Combustível	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	36,25
Carvão Mineral	63,55
Óleo Diesel	50,26
Óleo Combustível	52,50
Gás Liquefeito de Petróleo	42,80
Nafta	47,28
Querosene	48,77
Gás de Coqueria	43,12
Gás Canalizado	45,02
Coque de Carvão Mineral	72,66
Elettricidade	-
Carvão Vegetal	66,13
Alcatrão/ Outras sec. petróleo	56,41

Nota-se que os combustíveis que mais emitem gás carbônico, para o mesmo consumo de energia são, respectivamente, o coque de carvão mineral, o carvão vegetal, e o carvão mineral. Analisando somente as emissões de CO₂, percebe-se, ainda, que, dentre os combustíveis analisados, os gasosos se mostraram menos poluentes. É possível observar que o gás natural emite menos da metade do CO₂ emitido pelo coque de carvão mineral.

Isso ocorre devido ao fator de conversão e ao fator de emissão de carbono. O fator de conversão considera, em seu valor, a conversão da energia de PCS para PCI. Para tanto, deve-se multiplicar o consumo energético por 0,95, para combustíveis sólidos e líquidos, e por 0,90, para combustíveis gasosos. Isso significa que 10% do calor liberado pelos gases são utilizados como calor latente para que a água vaporize. No caso dos combustíveis sólidos, esse valor é menor, o que resulta em maior quantidade de energia liberada na forma de calor e maiores valores de CO₂ gerado.

Mais considerável do que o fator de conversão, é o fator de emissão de carbono. Nos combustíveis gasosos esse valor, que é multiplicado pelo consumo, em TJ, varia de 15,3 (gás natural) a 17,2 (gás liquefeito do petróleo - GLP). No caso dos combustíveis sólidos ele chega a 29,9 (no caso do carvão vegetal). Vale lembrar que quanto menor o fator de emissão de carbono, menor é o valor de gás carbônico emitido.

A partir do consumo total real do setor, com sua matriz energética diversificada, e considerando, também, a quantidade de CO₂ emitida pelos combustíveis, supondo que os mesmos sejam utilizados na indústria de ferro-gusa e aço de forma exclusiva, elaborou-se o Gráfico 8, a seguir.

*O consumo de energia por eletricidade não foi computado na estimativa do valor real emitido.
Gráfico 8 - Emissões de CO₂ supondo o consumo de apenas um combustível (em 10⁶ t de CO₂)

Observa-se que, se fosse possível utilizar apenas um combustível na indústria de ferro-gusa e aço para suprir sua demanda energética, as emissões de CO₂ seriam menores para os combustíveis gasosos, líquidos e o alcatrão e outras fontes secundárias do petróleo. Sendo que para o carvão mineral as emissões estariam bem próximas das emitidas no período em estudo. Estes resultados indicam um potencial significativo para reduzir a emissão de CO₂ pelo setor industrial de ferro gusa e aço, por meio da utilização do gás natural, em substituição aos demais combustíveis fósseis, quando possível.

Nota-se, ainda, que, se mantido o mesmo consumo energético, o coque de carvão mineral é o maior emissor de gás carbônico, seguido do carvão vegetal. Entretanto, o

método *Top-Down* do IPCC não considera em seus cálculos a condição de combustível renovável do carvão vegetal, que absorve CO₂ da atmosfera no desenvolvimento da planta que gera a lenha necessária para produzir o carvão. Portanto, o uso do carvão vegetal ao invés de um combustível fóssil, pode contribuir para a redução do aquecimento global, desde que o mesmo seja proveniente de mata de reflorestamento destinadas para a atividade industrial.

O coque de carvão mineral, diferente do carvão vegetal, não é um combustível renovável, ou seja, sua reposição é inviável em curto período de tempo. Assim sendo, sua oferta como energético é limitada, o que pode ocasionar falta de suprimento na indústria em longo prazo. Da mesma forma, o coque de carvão mineral não irá absorver o CO₂ emitido, fazendo com que sua concentração na atmosfera aumente ainda mais, contribuindo para a elevação do efeito estufa com consequências a nível global. O mesmo pode ser dito do carvão mineral e dos outros combustíveis não renováveis, que embora emitam menos gás carbônico para suprir a mesma demanda energética, possuem suas reservas naturais limitadas em longo período de tempo.

Substituição de dois dos três combustíveis mais utilizados

Outra suposição possível de ser realizada é a substituição de uma fonte de energia por outra. O mais importante nessa etapa é avaliar os principais combustíveis utilizados na indústria e estimar as emissões de CO₂ de cada um deles, supondo que o mesmo seja o principal energético utilizado no setor. Assim, é possível implementar políticas que incentivem o uso de um combustível em substituição a outro mais poluente.

De acordo com o BEN (2012), o coque de carvão mineral, o carvão vegetal e o carvão mineral são responsáveis por 75,7% da demanda de combustíveis do setor. Os mesmos emitiram, em 2011, 89,7% de todo gás carbônico lançado na atmosfera pelo setor industrial brasileiro. Dessa forma, realizam-se suposições para o caso de um desses combustíveis ser utilizado considerando que os outros dois sejam completamente substituídos pelo primeiro. Tais situações serão descritas a seguir.

Supondo a substituição do carvão mineral e vegetal pelo coque de carvão mineral, mantendo-se o uso das demais fontes energéticas, as emissões totais de CO₂ do setor industrial passariam de $64,9 \times 10^6$ para $67,6 \times 10^6$ t de CO₂. No caso da utilização do carvão vegetal ao invés do carvão mineral e do coque de carvão mineral, as emissões diminuiriam

para $62,1 \times 10^6$ t de CO_2 . E, por fim, se o carvão mineral fosse adotado como principal combustível, em substituição do coque e do carvão vegetal, as emissões de CO_2 diminuiriam para $59,95 \times 10^6$ t.

Para melhor comparação dos resultados, o Gráfico 9 mostra, a seguir, as emissões de CO_2 , considerando o uso do coque de carvão mineral, do carvão vegetal ou do carvão mineral como principais combustíveis.

Gráfico 9 - Emissões totais de CO_2 supondo substituição de dois combustíveis sólidos (em 10^6 t de CO_2)

A partir do Gráfico 9, fica evidente que o combustível que emite menos gás carbônico e que melhor contribuiria para a redução das emissões no processo industrial é o carvão mineral.

O coque de carvão mineral mostrou-se o maior poluente, seguido pelo carvão vegetal. Vale salientar, novamente, que o método utilizado nessa pesquisa não considera o fator de combustível renovável do carvão vegetal, o que garante que o CO_2 seja repostado em sua forma orgânica e em oxigênio.

Quando se afirma que o carvão vegetal repõe o CO_2 emitido na atmosfera em sua cadeia produtiva, refere-se ao carvão vegetal obtido de áreas reflorestadas e certificadas. A derrubada de florestas nativas para fins energéticos, ao contrário, desmataria a vegetação nativa, comprometendo a capacidade do carvão vegetal em contribuir para a redução do efeito estufa.

Assim sendo, mesmo o carvão mineral sendo indicado como menor emissor de GEE, o mesmo não reduz o gás carbônico da atmosfera num ritmo compatível com o desenvolvimento humano, contribuindo com o aquecimento global.

Diante do apresentado, pode-se concluir que a remoção do coque de carvão mineral e do carvão mineral na indústria de ferro gusa e aço, no Brasil, é ambientalmente viável para a introdução do carvão vegetal. A seguir, o mesmo procedimento adotado para analisar o setor de ferro gusa e aço será aplicado com relação ao setor de cimento, que, também, foi escolhido por meio da análise de desempenho.

4.4 - Setor de Cimento

4.4.1 - Caracterização do setor de Cimento

A busca do homem por um material de ligação para as construções data de épocas remotas que, após sucessivas pesquisas e avanços, chegou-se ao cimento *Portland*, que, segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2012), este tipo de cimento, corresponde, hoje, a quase toda a produção de cimento mundial.

O cimento *Portland* é o produto de uma atividade integrada de exploração e beneficiamento de substâncias minerais (calcário e argila), de sua transformação química em clínquer (cimento não pulverizado) e posterior moagem. Desse modo, a cadeia produtiva deste produto é dividida em seis etapas, segundo SNIC (2012):

- Extração de matéria prima: ocorre a extração do calcário;
- Britagem: o calcário é reduzido a um diâmetro máximo de 25 mm;
- Moagem da mistura crua: as matérias-primas (calcário, argila e areia) são transformadas em pó;
- Homogeneização da mistura crua: mistura uniforme com composição química para ir ao forno;
- Calcinação (clínquer): aquecimento da farinha crua a 1.450 °C dando origem ao clínquer;
- Moagem do clínquer: adição de gesso completando a fabricação do cimento.

De acordo com Worrell *et al.* (2000) a produção do clínquer é a etapa mais intensiva de energia na produção de cimento, correspondendo a mais de 90% do total de energia utilizada nesta indústria.

Para fabricar o clínquer, são utilizados basicamente dois processos principais: o processo seco e o processo úmido. Estes processos se diferem, principalmente, em termos de

preparação de matérias-primas. No processo seco as matérias-primas são introduzidas sob a forma de pó com um baixo nível de umidade de água; já no processo úmido é adicionado água durante a moagem dos materiais, produzindo a suspensão aquosa. O clínquer produzido por ambos os processos é essencialmente o mesmo, com nenhuma diferença na qualidade do produto final. No entanto, o consumo médio de energia específica do processo seco é significativamente menor quando comparado com o processo úmido, sendo esta uma significativa vantagem comparativa para indústrias cujas despesas com combustíveis correspondem a cerca de 18% a 20% dos custos totais e 35% a 40% dos custos variáveis. No Brasil, o processo seco é o mais utilizado (SOARES; TOLMASQUIM, 2000).

Vale mencionar que o Brasil apresenta um consumo per capita de cimento (271 Kg/hab em 2009) bastante inferior ao consumo per capita mundial (447 Kg/hab em 2009), segundo SNIC (2010). Em 2011, o setor industrial de cimento foi responsável por cerca de 5% do consumo final de energia do setor industrial (BEN, 2012). Todavia, apesar do baixo consumo energético, este setor apresenta um grande potencial de crescimento, devido ao atual *boom* em infraestrutura e construção civil. Deve-se considerar, ainda, o possível aumento da demanda que deve ocorrer com a Copa do Mundo e as Olimpíadas (ISTO É DINHEIRO, 2011). Como resultado, haverá uma ampliação da produção de cimento e, conseqüentemente, do consumo energético e das emissões deste setor, caso não haja uma alteração nos padrões de emissão da indústria de cimento, que tende a tornar-se cada vez mais importante para a questão das mudanças climáticas (LIMA, 2010).

Neste contexto, vale destacar que o setor de cimento possui seu processo produtivo dependente de elevadas quantidades de combustíveis fósseis, como é possível observar pela Tabela 31, que apresenta a evolução no uso de combustíveis por este setor industrial, de 2001 a 2011.

Tabela 35 - Estrutura de Consumo do Setor Industrial - Cimento em 10³ tep

Fontes	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás natural	24	28	14	20	17	18	24	25	15	23	29
Carvão mineral	180	135	211	38	6	66	60	62	57	52	56
Lenha	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo diesel	23	25	26	31	35	33	41	43	42	45	59
Óleo combustível	229	134	91	22	23	23	26	29	29	8	14
Eletricidade	375	343	328	323	345	354	371	411	407	456	502
Carvão vegetal	211	207	247	284	249	261	222	249	55	63	68
Coque de petróleo	2.198	2.125	1.726	1.696	1.881	2.031	2.300	2.561	2.736	3.161	3.512
Outras não especificadas	132	136	165	234	275	300	330	362	335	350	382
Total	3.381	3.132	2.808	2.648	2.831	3.087	3.373	3.742	3.675	4.157	4.622

Fonte: BEN (2012)

Verifica-se que o setor de cimento deixou de consumir lenha no seu processo produtivo e vem diminuindo ao longo do tempo o consumo de carvão vegetal, que são combustíveis renováveis. Por outro lado, vem aumentando a participação de fontes fósseis no consumo total de energia do setor, principalmente do coque de petróleo.

De acordo com os resultados do trabalho de Kim e Worrell (2002), esta alteração do *mix* de combustíveis utilizados, resultando na diminuição do uso da biomassa (carvão vegetal) e no aumento da utilização do petróleo na produção do clínquer, foi um dos principais fatores que contribuíram para o aumento da intensidade e das emissões de CO₂ no setor de cimento brasileiro. Estes autores, ainda, sinalizaram que o *mix* de combustíveis intensivos em carbono, em muitos países, indica um potencial de redução de emissões por meio da alteração da matriz por combustíveis menos intensivos em carbono, como o gás natural. Vale mencionar que nesta pesquisa, os autores realizaram uma análise de decomposição usando indicadores físicos para verificar a tendência das emissões de CO₂ na indústria de cimento do Brasil, China, Coreia do Sul e Estados Unidos.

Deve-se ressaltar, no entanto, que, na indústria de cimento, grande parte do CO₂ liberado é proveniente do processo de manufatura. O cimento *Portland* é feito, primeiramente, do calcário, que corresponde a 80% da matéria-prima. O calcário (CaCO₃) precisa ser transformado em cal (CaO), antes de seguir para a próxima etapa, e isto é feito por meio do aquecimento do calcário (KLINE; BARCELO, 2012).

Como o CO₂ liberado do calcário puro representa 44% do seu peso original e, como mencionado, ele corresponde a 80% da matéria-prima utilizada, o CO₂ proveniente da matéria-prima é aproximadamente 35% do total dos materiais utilizados na entrada do processo. Portanto, a produção de cimento teria uma elevada emissão de CO₂ mesmo se nenhum combustível fosse requerido no processo (KLINE; BARCELO, 2012).

Portanto, a indústria de cimento emite CO₂ de forma direta e indireta. As emissões diretas de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e as emissões indiretas de CO₂ do consumo de eletricidade são geralmente consideradas como emissões de CO₂ relacionadas com a energia, enquanto as emissões de CO₂ diretas do processo de calcinação de cimento são geralmente chamadas emissões de CO₂ do processo de cimento (KE et al, 2013).

Vale destacar que esta indústria é um dos principais produtores mundiais de gases de efeito estufa antropogênicos, do qual o CO₂ é o mais significativo (MIKULČÍČ et al, 2012). De acordo com o *International Energy Agency* - IEA e o *World Business Council for*

Sustainable Development - WBCSD (2009), este setor é responsável por cerca de 5% das emissões antropogênicas de CO₂ no mundo.

Diante deste cenário, Soares e Tolmasquim (2000) concluem que a indústria de cimento é um dos principais setores responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa devido a dois fatores: (1) a calcinação de matérias-primas para a produção do cimento *Portland*; e (2) o consumo dos combustíveis necessários para manter as altas temperaturas exigidas por estes processos.

Pesquisadores têm investido uma quantidade considerável de tempo estudando maneiras de melhorar o consumo de energia e formação de poluentes no processo de fabricação de cimento. Entre estes estudos, pode-se citar o de Benhelal et al (2013), por exemplo, que discutiram em seu trabalho as estratégias e potencialidades globais para a mitigação das emissões de CO₂ em fábricas de cimento. Ke et al (2013), por sua vez, compararam várias metodologias para o cálculo das emissões de CO₂ provenientes da produção de cimento, incluindo os três componentes principais de emissões: emissões diretas a partir do processo de calcinação para produção de clínquer, emissões diretas da queima de combustíveis fósseis e as emissões indiretas do consumo de eletricidade. Já Mikulčić et al (2013) em seu trabalho analisaram o potencial de reduzir emissões de CO₂ na indústria de cimento da Croácia. Em 2012, Mikulčić et al (2012) buscaram demonstrar o potencial da Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) para apoiar, em uma fábrica croata, projeto e otimização de calcinadores, cujo uso parece ser essencial na redução das emissões de CO₂ durante a produção de cimento.

Vale mencionar ainda o trabalho Vatopoulos e Tzimas (2012), que avaliaram a viabilidade de três tecnologias de captura de CO₂ para a indústria de cimento; além do trabalho de Barker et al (2009), que resumiu um estudo que avaliou as tecnologias que poderiam ser utilizadas para a captura de CO₂ em plantas de cimento, seus custos e barreiras à sua utilização.

Considerando seus estudos, Vatopoulos e Tzimas (2012) e Barker et al (2009) afirmam que reduções significativas das emissões globais do setor de cimento só podem ser alcançadas por meio da aplicação de técnicas de captura e estocagem de carbono. Segundo Barker (2013), em muitos aspectos, a indústria do cimento representa uma boa oportunidade para a CAC, pois fábricas de cimento são relativamente grandes fontes pontuais de CO₂, sendo que grande parte das emissões totais de dióxido de carbono nessas fábricas é de decomposição mineral, e, portanto, não podem ser evitadas com o uso de fontes alternativas de energia.

No entanto, o IEA (*International Energy Agency*) e o WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) elaboraram um *framework* para diminuir a intensidade de CO₂ da produção de cimento que foca em outras três distintas "alavancas de redução", além da captura e armazenagem de carbono (CAC): a eficiência térmica e elétrica, o uso de combustível alternativo e a substituição do clínquer (WBCSD; IEA, 2009).

O documento não prevê a implementação de tecnologias muito avançadas de fabricação do cimento, que viabilizariam a substituição do clínquer, por isso a importância fundamental da CAC para que a indústria reduza suas emissões de forma significativa. Porém, esta alternativa não se encontra desenvolvida a ponto de poder ser aplicada em larga escala no setor.

Já o aumento da eficiência energética através do uso de tecnologias mais eficientes, segundo Benhelal et al (2013), pode contribuir significativamente para atenuar as emissões globais de gases poluentes e partículas sólidas. Economia de combustível e energia também é uma estratégia eficaz para retardar o esgotamento dos combustíveis fósseis. De acordo com estes autores, este objetivo tem sido alcançado através de diferentes abordagens, incluindo: modificação de processos, integração de processos, otimização da planta, manutenção, isolamento, recuperação de energia, entre outros.

No entanto, Lima (2010) afirma que esta não é uma opção tão promissora no Brasil, uma vez que as fábricas nacionais são relativamente modernas, produzindo clínquer com consumo energético de 3,65 JG/t, que é o mesmo patamar médio europeu, encontrando-se entre os menores consumos energéticos mundiais. Embora este consumo possa se aproximar de 3,1 JG/t, que é o padrão japonês, isso demanda aplicação de tecnologia ainda mais moderna em todas as fábricas nacionais, o que pode ser impraticável em curto prazo.

Porém, o documento é bastante crítico ao afirmar que todas as tecnologias e oportunidades mencionadas, incluindo a utilização de combustíveis menos poluentes, devem ser aplicadas de forma conjunta para que os melhores cenários sejam alcançados – nenhuma opção por si só pode produzir as necessárias reduções das emissões (WBCSD; IEA, 2009).

Considerando este contexto, somado ao aumento de desempenho, do ponto de vista sustentável, que a diminuição das emissões decorrentes da utilização de fontes fósseis de energia pode proporcionar a este setor, justifica-se, da mesma forma que para o setor de ferro gusa e aço, o foco deste trabalho em quantificar a potencial contribuição da alteração da matriz energética, do setor de cimento, para a redução dos GEE.

Deste modo, a seguir, seguem os resultados obtidos a partir da elaboração dos inventários de emissão de dióxido de carbono do setor de cimento.

4.4.2 - Inventários de Emissão do Setor de Cimento

De acordo com o BEN (2012), em 2011, ano de referência no presente trabalho para a elaboração dos inventários, o setor de cimento apresentou 76% de consumo de energia a partir do coque de petróleo, 10,9% da eletricidade e 8,3% a partir de outras fontes não especificadas, como ilustrado no Gráfico 6.

Gráfico 10 - Consumo energético do setor de cimento em 2011

Fonte: BEN (2012)

A partir da técnica *Top-Down*, proposta pelo IPCC, e com base no consumo de energéticos fornecidos pelo BEN (2012), procedeu-se, então, com a quantificação das emissões atmosféricas de CO₂ no setor industrial de cimento, para o ano de 2011. Vale lembrar que as emissões por eletricidade não foram consideradas nas quantificações, pois dependem da forma de geração de energia (hidráulica, térmica, nuclear, eólica, etc.). Vale mencionar, ainda, que as emissões indiretas da eletricidade no setor de cimento são relativamente baixas, devido à pequena utilização de eletricidade pelo setor.

Além disso, ressalta-se que por não especificar o tipo de fonte energética que provém 8,3% do consumo energético, não foi possível calcular as emissões desta parcela do consumo de energia pelo setor de cimento.

As etapas necessárias para obtenção do resultado final foram dispostas nas Tabela 32 e Tabela 37, como apresentadas a seguir.

Tabela 36 - Etapas 1, 2 e 3 do método de quantificação das emissões de CO₂

Combustível	Etapa 1		Etapa 2		Etapa 3	
	Consumo (tep)	Fator de conversão (TJ/tep)	Consumo (TJ)	Fator de emissão de carbono (tC/TJ)	Conteúdo de carbono (t C)	Conteúdo de carbono (Gg C)
Gás natural	29.040,00	0,04070	1.181,79	15,30	18.081,41	18,08
Carvão mineral	55.772,51	0,04296	2.395,77	25,80	61.810,92	61,81
Lenha	-	0,04296	-	29,90	-	-
Óleo diesel	59.299,84	0,04296	2.547,29	20,20	51.455,32	51,46
Óleo combustível	13.502,30	0,04296	580,01	21,10	12.238,15	12,24
Eleticidade	501.815,16	-	-	-	-	-
Carvão vegetal	68.212,76	0,04296	2.930,16	29,90	87.611,70	87,61
Coque de petróleo	3.511.969,02	0,04296	150.860,67	27,50	4.148.668,37	4.148,67
Outras não especificadas	382.057,95	-	-	-	-	-

Tabela 37 - Etapas 4 e 5 e 6 do método de quantificação das emissões de CO₂

	Etapa 4		Etapa 5		Etapa 6	
Combustível	Carbono estocado (Gg C)	Emissão líquida de carbono (Gg C)	Fração oxidada	Emissão de carbono (Gg C)	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)	Emissão de CO ₂ (%)
Gás natural	-	18,08	0,995	17,99	0,07	0,42%
Carvão mineral	-	61,81	0,98	60,57	0,22	1,40%
Lenha	-	-	0,87	-	-	0,00%
Óleo diesel	-	51,46	0,99	50,94	0,19	1,18%
Óleo combustível	-	12,24	0,99	12,12	0,04	0,28%
Elettricidade	-	-	-	-	-	0,00%
Carvão vegetal	-	87,61	0,88	77,10	0,28	1,78%
Coque de petróleo	-	4.148,67	0,99	4.107,18	15,06	94,94%
Outras não especificadas	-	-	-	-	-	-

Reitera-se que os valores são calculados em escala anual e é considerado todo o território brasileiro. Assim sendo, foi possível elaborar o Gráfico 11, que apresenta a participação de cada combustível nas emissões de CO₂ no setor industrial de cimento.

Gráfico 11 - Emissões de CO₂ por combustível no setor de cimento (%)

Observa-se que, devido ao elevado consumo, o coque de petróleo é o maior responsável pelas elevadas emissões atmosféricas de CO₂ do setor de cimento. O combustível emitiu $15,06 \times 10^6$ toneladas (t) de CO₂, correspondendo a 94,9% do total das emissões.

Segundo o BEN (2012), este setor ainda consome uma pequena quantidade de carvão vegetal, responsável por 1,8% das emissões. No entanto, ressalta-se que, no caso de indústrias que produzem os próprios combustíveis renováveis, por meio da reposição da biomassa utilizada no processo produtivo, considera-se que não há emissões de gás carbônico. No entanto, tal característica de captura do CO₂ não foi mensurada nos cálculos efetuados.

Diante destes resultados, é possível concluir que a substituição do coque de petróleo traria grandes modificações à quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera por este setor industrial.

Segundo o WBCSD e o IEA (2009), muitos combustíveis alternativos podem ser utilizados na substituição do coque de petróleo, como por exemplo: resíduos de pneus; resíduos sólidos industriais e municipais pré-tratados; resíduos de óleo e solvente; resíduos de plástico, papel e têxtil; e biomassa (farinhas de origem animal, resíduos de madeira, madeira e papel reciclados, resíduos agrícolas como casca de arroz ou serragem, entre outros).

Benhelal et al (2013) afirmam, a partir do seu estudo, que entre todos os combustíveis alternativos, o combustível derivado de resíduos (CDR) ao ser utilizado na planta parece ser o mais ambientalmente amigável. Resíduos industriais utilizados como combustíveis, matérias-primas e substitutos de clínquer, contribuem significativamente na redução das emissões, uma vez que, simultaneamente, reduzem as emissões de CO₂ das fábricas de cimento e dos aterros sanitários. Deste modo, nota-se que esta redução das emissões é indireta, pois o CDR não é utilizado no processo de cimento, como a principal

fonte de energia. Porém, quando não utilizado como energético deve ser destruído por incineradores ou serem enviados para os aterros sanitários, gerando mais CO₂ além do CO₂ gerado pelo combustível fóssil, quando não substituído.

Porém, de acordo com Lima (2010), apesar da utilização destes resíduos reduzir a necessidade do uso de combustíveis fósseis, devem ser considerados fatores negativos, como maiores fatores de emissão de alguns resíduos com relação a alguns combustíveis fósseis e possibilidade de geração de poluição ambiental.

Destaca-se, porém, que para a análise deste trabalho, foram considerados os combustíveis mencionados pelo Balanço Energético Nacional, que já são utilizados pelo setor de cimento brasileiro.

Considerando isso, da mesma forma que no setor de ferro gusa e aço, para efeito de comparação, procedeu-se com as quantificações realizando-se suposições do consumo de energia por fonte.

Uso de um combustível para suprir toda a demanda energética

Inicialmente, será suposto que todo o consumo energético da indústria brasileira de cimento seja abastecido por apenas um combustível. De acordo com BEN (2012), o consumo total para o ano de 2011 foi de 4.120×10^3 tep. Desconsiderou-se, nesse total, o consumo por eletricidade, o qual não é o foco da pesquisa, e o consumo por outras fontes não especificadas. Fixando este consumo para cada combustível utilizado na indústria (etapa 1 do método *Top-Down*), é possível estimar quanto se emitiria, caso toda a matriz energética fosse substituída por este combustível. Assim, a Tabela 348 mostra o resultado obtido para as emissões de CO₂ de cada combustível, como se este fosse utilizado como único suprimento para toda a demanda energética do setor.

Tabela 38 - Emissões de CO₂ considerando consumo total do setor por apenas um combustível

Combustível	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	9,36
Carvão Mineral	16,41
Lenha	16,88
Óleo Diesel	12,98
Óleo Combustível	13,56
Eletricidade	-
Carvão Vegetal	17,07
Coque de Petróleo	17,67
Outras não especificadas	-

Nota-se que os combustíveis que mais emitem gás carbônico, para o mesmo consumo de energia são, respectivamente, o coque de petróleo, o carvão vegetal e a lenha. Apesar desta última não ser mais consumida pelo setor, julgou-se interessante estudar as suas emissões, a fim de verificar as vantagens de inseri-la novamente na matriz energética do setor de cimento, considerando, assim, a possibilidade de elaborar novas políticas para o incentivo deste energético, com o devido respeito ambiental.

Analisando somente as emissões de CO₂, percebe-se, ainda, que, dentre os combustíveis analisados, o gás natural, assim como no setor de ferro gusa e aço, se mostrou o menos poluente, emitindo quase metade do CO₂ emitido pelo coque de petróleo. Como já explicado no inventário do setor de ferro gusa e aço, isso ocorre devido ao fator de conversão e ao fator de emissão de carbono.

A partir do consumo total real do setor, com sua matriz energética diversificada, e considerando, também, a quantidade de CO₂ emitida pelos combustíveis, supondo que os mesmos sejam utilizados na indústria de cimento de forma exclusiva, elaborou-se o Gráfico 12, a seguir.

*O consumo de energia por eletricidade e por outras fontes não especificadas não foi computado na estimativa do valor real emitido.

Gráfico 12 - Emissões de CO₂ supondo o consumo de apenas um combustível (em 10⁶ t de CO₂)

Observa-se que, se fosse possível utilizar apenas um combustível na indústria de cimento para suprir sua demanda energética, o coque de petróleo seria o energético mais poluente, com o valor de emissão bem próximo do emitido no período analisado. Em contrapartida, as emissões de CO₂ seriam menores para o gás natural se o mesmo fosse utilizado de forma exclusiva na matriz energética do setor.

Estes resultados, da mesma forma que para o setor de ferro gusa e aço, também, indicam um potencial significativo para reduzir a emissão de CO₂ pelo setor industrial de cimento, por meio da utilização do gás natural, em substituição aos demais combustíveis fósseis, quando possível.

Nota-se, ainda, que, se mantido o mesmo consumo energético, o coque de petróleo é o maior emissor de gás carbônico, seguido do carvão vegetal e da lenha. Entretanto, o método *Top-Down* do IPCC não considera em seus cálculos a condição de combustível renovável do carvão vegetal, que absorve CO₂ da atmosfera no desenvolvimento da planta que gera a lenha, que por sua vez produzirá o carvão. Portanto, vale ressaltar que o uso do carvão vegetal e da lenha ao invés de um combustível fóssil, pode contribuir para a redução do aquecimento global, desde que o mesmo seja proveniente de mata de reflorestamento destinadas para a atividade industrial.

O coque de petróleo, diferente do carvão vegetal e da lenha, não é um combustível renovável, ou seja, sua reposição é inviável em curto período de tempo. Assim sendo, sua oferta como energético é limitada, o que pode ocasionar falta de suprimento na indústria em longo prazo. Da mesma forma, o este energético não irá absorver o CO₂ emitido,

fazendo com que sua concentração na atmosfera aumente ainda mais, contribuindo para a elevação do efeito estufa com consequências a nível global. O mesmo pode ser dito dos outros combustíveis não renováveis, que embora emitam menos gás carbônico para suprir a mesma demanda energética, também, possuem suas reservas naturais limitadas em longo período de tempo.

Substituição do coque de petróleo por outros combustíveis

Da mesma forma que para o setor de ferro gusa e aço, outra suposição possível de ser realizada é a substituição de uma fonte de energia por outra.

No caso do setor de ferro gusa e aço, a suposição realizada foi substituição de dois dos três combustíveis mais utilizados neste setor. Para o setor de cimento, no entanto, como coque de petróleo supera em muito o consumo dos demais combustíveis, sendo responsável por 95% das emissões do setor, optou-se por supor, para este setor, que o consumo deste combustível fosse suprido por uma das demais fontes de energia utilizadas.

Para melhor comparação dos resultados, o Gráfico 13 mostra, a seguir, as emissões de CO₂, considerando a substituição do coque de petróleo, com o uso do gás natural, do carvão mineral, da lenha, do óleo diesel, do óleo combustível ou do carvão vegetal como principais combustíveis.

Gráfico 13 - Emissões totais de CO₂ supondo substituição do coque de petróleo (em 10⁶ t de CO₂)

A partir do Gráfico 9, fica evidente que as emissões serão menores supondo a substituição do coque de petróleo pelo gás natural, sendo este o combustível que, segundo a análise, melhor contribuiria para a redução das emissões no processo industrial do setor de cimento. Considerando esta suposição, mantendo o uso das demais fontes energéticas, as emissões de CO₂, deste setor industrial, passariam de 15,86 x 10⁶ t de CO₂ para 8,04 x 10⁶ t de CO₂. Por outro lado, as emissões seriam maiores no caso da utilização do carvão vegetal ao invés do coque de petróleo, mas ainda assim elas seriam menores do que as atuais emissões do setor, diminuindo para 14,84 x 10⁶ t de CO₂. Em seguida, com as maiores emissões, encontra-se a lenha e o carvão mineral, respectivamente. Porém, vale salientar, novamente, que o método utilizado nessa pesquisa não considera o fator de combustível renovável do carvão vegetal e da lenha, o que garante que o CO₂ seja repostado em sua forma orgânica e em oxigênio, quando o mesmo é obtido de áreas reflorestadas e certificadas.

Assim sendo, vale salientar que os combustíveis fósseis, mesmo quando apresentam menores emissões de GEE quando comparados com combustíveis de caráter renovável, não reduzem o gás carbônico da atmosfera num ritmo compatível com o desenvolvimento humano, contribuindo com o aquecimento global.

Portanto, pode-se concluir que a remoção do coque de petróleo e do carvão mineral na indústria de cimento, no Brasil, é ambientalmente viável para a introdução do carvão vegetal, da lenha ou, ainda, do gás natural; uma vez que este último, mesmo sendo um combustível fóssil, apresenta baixas emissões.

Considerando a condição de combustível renovável do carvão vegetal, com potencial de sequestro de carbono e de regeneração do oxigênio, além do mesmo já ser utilizado pelas indústrias para as quais foram elaborados os inventários de emissão, a presente pesquisa foca neste energético para a fase seguinte deste trabalho. Deste modo, parte-se para a próxima etapa, que consiste na discussão das políticas relacionadas ao incentivo da utilização do carvão vegetal como fonte energética no setor de cimento e de ferro gusa e aço.

4.5 - Políticas relacionadas à utilização do carvão vegetal nos setores de cimento e ferro gusa e aço

Como foi possível observar pelos inventários de emissão do setor brasileiro de cimento, a emissão por uso de energia é influenciada pelo intenso uso de coque de petróleo na produção deste produto, sendo que, em 2011, este energético respondeu por 76% da energia consumida neste setor. Já no setor de ferro gusa e aço, o principal combustível é o coque de carvão mineral, que apresentou 43,3% do consumo total de energia deste setor.

Estes dados merecem especial atenção, uma vez que os fatores de emissão destes combustíveis são altos em relação aos demais energéticos utilizáveis na produção de cimento e de ferro gusa e aço. Além disso, ressalta-se que uma das principais possibilidades de mitigação de emissões de CO₂ nestes setores refere-se às emissões por uso de energia, por meio do uso de combustíveis com menor fator de emissão ou pelo uso de energéticos com emissão nula, como é o caso de combustíveis renováveis, como carvão vegetal e lenha (provenientes de floresta plantada), ou, ainda, resíduos de biomassa.

No caso do setor de cimento, de acordo com Lima (2010), a utilização de combustíveis renováveis tem a possibilidade de reduzir as emissões deste segmento em até 33%. Porém, esta opção tem relação direta com os custos de produção e a competitividade das empresas do setor cimenteiro e dos outros setores para os quais este energético se apresente como alternativa. Logo, políticas públicas que incentivem o uso de energéticos renováveis por estes setores são fundamentais para viabilizar a substituição energética por combustíveis mais limpos.

Algumas políticas vêm sendo propostas para incentivar e suportar o uso de fontes alternativas mais limpas. Neste contexto, é possível citar as políticas de suporte ao *framework* do relatório do WBCSD e da IEA (2009), já comentado, que tem o intuito de diminuir a intensidade de CO₂ da produção de cimento. Entre estas políticas é possível destacar:

- A responsabilidade dos elaboradores de políticas em facilitar o entendimento de todos os *stakeholders* e do público sobre o papel do uso de combustíveis alternativos para a redução das emissões.

- Revisão e atualização da legislação em nível regional, nacional e local, de forma a garantir que o uso de combustíveis alternativos e da biomassa seja incentivado pelas políticas, e não limitado.

- Introdução pelo Governo do conceito de ecologia industrial e promoção do conceito de uma sociedade baseada em reciclagem.

- Garantir que os operadores sigam um conjunto comum de direcionamentos sobre o uso de combustíveis alternativos, para garantir processos adequados, como por exemplo: indução e retração, documentação e monitoramento, para empregados e contratantes.

- Assegurar o treinamento de autoridades e uma base técnica adequada para os funcionários públicos responsáveis pelas permissões, controle e supervisão.

- Discussões entre governo e indústria para investigar o conceito de aterros locais de mineração para gerar combustíveis alternativos e matéria-prima (por causa, por exemplo, do espaço necessário para a expansão urbana).

Ressalta-se, no entanto, que a utilização do carvão vegetal como energético, tanto no setor de cimento como no setor de ferro gusa e aço, é interessante do ponto de vista ambiental, como alternativa para redução da utilização de materiais não renováveis e controle dos níveis de emissões de gases de efeito estufa. Assim, diante dos resultados apresentados, este energético, por ser um combustível renovável, apresenta-se como a melhor alternativa para a substituição do carvão mineral e do coque no setor de ferro gusa e aço e como uma boa alternativa para a substituição do coque de petróleo no setor de cimento, juntamente com a lenha e os resíduos de biomassa.

Porém, como mencionado, para que traga resultados ambientais positivos, o uso de carvão vegetal exige investimentos e cuidados adequados, sobretudo com relação à origem do carvão utilizado. Devido à elevada emissão de CO₂ deste energético, como mostrado nos inventários, é importante que o mesmo seja proveniente de áreas reflorestadas destinadas para a atividade industrial.

Esta visão vai de encontro com a preocupação do Brasil com a questão ambiental, que tem levado as entidades governamentais e não governamentais a incentivarem formas de regulamentação do uso da biomassa. O setor de gusa, por exemplo, por décadas, se abasteceu de carvão de fontes ilegais, produzidos a partir da derrubada indiscriminada de matas nativas. Porém, no país, a derrubada de florestas nativas para fins industriais, energéticos, ou qualquer outra exploração, econômica ou não, sem licença ou em desacordo com as determinações legais, de acordo com o artigo 46 do Decreto 6514/08, é uma atividade

que não é mais permitida, acarretando uma multa de R\$ 500,00 (quinhentos reais), por metro cúbico de carvão-mdc.

Vale citar, ainda, que o artigo 34 do Novo Código Florestal - Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, afirma que as empresas industriais que utilizam grande quantidade de matéria-prima florestal são obrigadas a elaborar e implementar o Plano de Suprimento Sustentável - PSS, a ser submetido à aprovação do órgão competente do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente). Além disso, o PSS de empresas siderúrgicas, metalúrgicas ou outras que consumam grandes quantidades de carvão vegetal ou lenha estabelecerá a utilização exclusiva de matéria-prima oriunda de florestas plantadas ou de PMFS (Plano de Manejo Florestal Sustentável) e será parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento. Vale ressaltar que o PMFS contempla técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatíveis com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme (PRESIDÊNCIA, 2012).

No entanto, é importante destacar que, embora o carvão vegetal e a lenha representem, de acordo com o BEN (2012), 9,7% da oferta interna de energia no país, ainda há poucas referências às questões relacionadas a estes combustíveis. Com o grande potencial de exploração de florestas nativas e plantadas, o Brasil deve aprimorar sua política e ações nesta área, considerando a renovabilidade, a sustentabilidade e a proteção dos recursos florestais, associadas às políticas energéticas e ambientais.

Neste contexto, ressalta-se que a utilização do carvão vegetal como biorredutor na siderurgia, segundo o IAB (2010), é uma tecnologia aplicada somente no Brasil. O produto final da fabricação de aço utilizando carvão vegetal obtido de lenha de florestas plantadas é considerado, por Rocha (2011), como aço verde, o que atribui características únicas ao aço brasileiro, capaz de ajudar na mitigação das emissões de gases do efeito estufa de forma vantajosa. Para isso, Rocha (2011) reitera a importância de leis que sejam efetivas e inibam crimes ambientais, como o consumo de matéria-prima proveniente da floresta nativa na produção de lenha e carvão vegetal.

Considerando tal contexto, Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008) afirmam que o setor siderúrgico deve controlar a origem do carvão vegetal utilizado na produção de ferro gusa e comprometer-se a não utilizar material de origem ilegal. Além disto, deveria promover a ampliação da área de floresta plantada utilizando, para isso, incentivos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Este comprometimento pode ser estendido a todas as empresas que utilizam este energético, incluindo o setor de cimento, que também é foco deste trabalho.

Algumas ações, de controle da origem do carvão vegetal, já podem ser observadas. A Agência Estado (2012), por exemplo, afirmou, em reportagem, que o Ministério Público do Pará divulgou nota sobre a assinatura de um acordo pelas siderúrgicas Sidepar, Iberica e Cosipar para a regularização ambiental de suas atividades. Neste acordo, as empresas devem manter um banco de dados atualizado e disponível sobre a origem do carvão consumido, com detalhes sobre as fontes de suprimento e fornecedores. Além disso, no acordo, as siderúrgicas se comprometem a publicar dados sobre a produção anual de ferro gusa e informar detalhadamente a situação de seus projetos de reflorestamento e de reposição florestal, que serão auditados.

Na reportagem, o MPF esclarece que R\$ 145 milhões das três siderúrgicas haviam sido bloqueados para garantir a recomposição dos danos à floresta Amazônica. Além do bloqueio, as empresas foram proibidas de adquirir carvão até que toda a matéria-prima florestal e a cadeia de custódia fosse auditada em campo pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e certificada pelo Ibama (AGÊNCIA ESTADO, 2012).

Vale ressaltar, ainda, que na opinião de Rocha (2011), para produzir ferro gusa e aço ambientalmente viáveis, deverão ser realizadas parcerias do tipo público-privado. O mesmo pode ser dito para o setor de cimento. Além disso, de acordo com Uhlig, Goldemberg e Coelho (2008), deveriam ser aprimoradas as técnicas de produção de carvão vegetal prevendo a recuperação de subprodutos, que reduziriam as emissões e valorizariam a madeira como matéria-prima. Uma vez que o coque apresenta maior vantagem econômica, quando comparado com o carvão vegetal, é preciso uma política que estimule a produção deste último com custos mais competitivos, com isso a demanda crescente por esta fonte de energia será atendida e a emissão de milhões de toneladas de gás carbônico evitada.

Diante do apresentado, vale destacar que o carvão vegetal é uma fonte de energia renovável e importante matéria-prima na produção de aço no Brasil, e pode vir a se tornar, também, um energético importante no setor de cimento, no caso dos custos diminuíssem.

O potencial de sequestro de carbono e de regeneração do oxigênio, aliado à melhor qualidade do gusa (no caso do setor de ferro gusa e aço) proveniente do carvão vegetal, qualifica este combustível como uma boa alternativa energética para a indústria de ferro gusa e aço, bem como para a indústria de cimento, podendo se apresentar como uma opção nas negociações internacionais relacionadas com as mudanças climáticas. Portanto, o carvão vegetal deve ser cuidadosamente considerado nas políticas energéticas e florestais a fim de assegurar a sustentabilidade e melhorar as condições ambientais em sua produção.

O Relatório de Sustentabilidade, do Instituto Aço Brasil (IAB, 2010), faz algumas considerações sobre a utilização do carvão vegetal pela indústria brasileira, alertando para problemas e oportunidades que precisam ser ponderados e considerados dentro do contexto de cada indústria.

Com relação a isso, no que diz respeito ao setor de ferro gusa e aço, o instituto reconhece a vantagem ambiental da substituição total do coque, obtido a partir do carvão mineral, pelo carvão vegetal no processo de fabricação do aço, quando este último é proveniente de florestas plantadas. Porém, a IAB (2010) ressalta que há diferentes fatores que dificultam e inviabilizam esse processo.

Entre estes fatores, há aspectos técnicos que impossibilitam que altos-fornos de grande porte, que hoje utilizam coque, possam operar com carvão vegetal. Uma eventual substituição desse insumo, além de exigir gastos significativos em novas tecnologias e equipamentos, alteraria a estrutura de escala e produtividade da indústria, podendo abalar a competitividade do aço brasileiro no mercado internacional (IAB, 2010).

Além dos impedimentos técnicos e econômicos, este instituto ainda menciona que, a hipotética migração de toda a indústria para a utilização de carvão vegetal causaria um drástico aumento na demanda por essa matéria-prima no mercado, o que implicaria na exigência de extensas áreas para plantio de florestas destinadas a produção de carvão vegetal (IAB, 2010).

Ressalta-se, entretanto, que não é o intuito deste trabalho o incentivo à utilização de uma única fonte de energia por determinado setor industrial. Tal procedimento comprometeria, entre outros aspectos, como os já citados, a segurança energética do setor. Todavia, salienta-se a importância da utilização de energéticos alternativos, principalmente os renováveis, devido aos benefícios ambientais proporcionados por eles.

Vale pontuar, ainda, o trabalho de Huesemann (2003), no qual o autor afirma que considerando que os próprios fundamentos das sociedades industriais ocidentais são baseados na exploração de combustíveis e minerais não renováveis, será extremamente difícil promover uma mudança para um sistema industrial e econômico baseado exclusivamente em fontes renováveis.

Por outro lado, o estudo de Deng, Blok e Leun (2012) sugere que, apenas utilizando as tecnologias existentes, seria possível fornecer até 95% da energia mundial de forma renovável, até o ano de 2050. Para isso, o documento propõe, além do uso de fontes renováveis, a utilização de diversas técnicas de eficiência energética, o que implicaria na redução do consumo de energia mundial.

Logo, para chegar a um sistema de energia global totalmente sustentável em 2050, o cenário de energia apresentado pelos autores combina uma unidade de eficiência mais ambiciosa do lado da procura, com forte crescimento de opções de fontes renováveis do lado da oferta. Ambos são importantes: a transição não pode ser alcançada apenas pelo lado da oferta de energia (DENG; BLOK; LEUN, 2012).

Apesar de ambiciosa, os autores afirmam que a proposta é viável, pois é baseada em tecnologias disponíveis e taxas realistas de desdobramentos. No entanto, pontuam que são necessárias medidas políticas em todos os setores para promover incentivos para a transição para uma matriz energética mais limpa e eficiente.

Deste modo, Deng, Blok e Leun (2012) alegam que os organismos públicos deveriam criar um *framework* para esta transição e investir em infraestrutura e projetos de P&D. Já os agentes privados, consumidores e empresas deveriam operar sob uma perspectiva de longo prazo, resultando na adoção de melhores práticas de eficiência energética; e canalizar investimentos em opções mais eficientes e sustentáveis de energia. Além disso, os autores ressaltam que um conjunto de políticas e regras de mercado precisa ser aplicado, de modo a garantir a sustentabilidade do uso da biomassa para a geração de energia.

Igualmente, ressalta-se a importância de uma política de incentivo para o gás natural. Os benefícios ambientais da utilização do gás natural como combustível, na indústria, ficaram evidentes a partir dos inventários realizados. Os mesmos indicaram um potencial significativo para reduzir as emissões de dióxido de carbono dos setores de ferro gusa e aço e de cimento por meio da utilização deste energético em substituição aos demais combustíveis fósseis. Além disso, as recentes descobertas de reservas proporcionam uma excelente perspectiva de expansão da oferta deste energético.

Vale mencionar, ainda, que de acordo com Calou (2013), a expansão do mercado de gás permite a atração de outros supridores, além da Petrobras, o que traria benefícios à indústria e demais consumidores. Um forte aliado nesta expansão seria a inserção de térmicas no sistema elétrico brasileiro, pois, além de trazer segurança energética, são ótimas âncoras para a expansão dos sistemas de distribuição de gás, ainda muito tímidos no país.

O Brasil tem demonstrado a capacidade de adotar e efetivamente implementar políticas energéticas e tecnologias inovadoras, como exemplificado pelo programa do PROÁCOOL e os esforços para aumentar a eficiência no uso da eletricidade. Estes esforços envolveram um compromisso de longo prazo do governo; um conjunto abrangente de políticas para superar barreiras técnicas, institucionais e de mercado; e uma participação ativa

do setor privado (GELLER *et al.*, 2004). Uma estratégia semelhante poderia ser usada para implementar com sucesso um conjunto de políticas para incentivar o uso do carvão vegetal e outras fontes renováveis pela indústria, com os devidos cuidados, de modo a não comprometer outros aspectos ou setores do país, como o de produção de alimentos ou, ainda, de biocombustíveis.

Capítulo 5 - CONCLUSÃO

Muito tempo e recursos têm sido despendidos com a temática da sustentabilidade em seus pilares econômico, social e ambiental, especialmente por meio de análises comparativas entre países, regiões, distritos ou setores. Nessas análises, apesar de se estar longe de um consenso sobre as variáveis que devem ser utilizadas, grande destaque tem sido dado às emissões de CO₂ e ao consumo energético, dada a sua grande contribuição para o aquecimento global. Destaca-se que uma das principais causas do crescimento acentuado das emissões de CO₂ e do consumo de energia foi o desenvolvimento da economia de países emergentes, entre os quais o Brasil se inclui.

Em comparação aos países desenvolvidos, a grande participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira garante que o país apresente baixas emissões de GEE em termos absolutos. Apesar disso, o consumo de energia e as emissões per capita de CO₂ no Brasil tem se expandido, já que as fontes fósseis de energia ainda apresentam uma participação significativa no consumo industrial brasileiro.

Deste modo, uma vez que a energia é um dos componentes essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma nação, os desenvolvimentos atuais e futuros do país devem estar intimamente ligados ao uso sustentável, eficiente e seguro de energia com base em abordagens ecologicamente e economicamente mais viável para o futuro da sociedade a curto e em longo prazo.

No entanto, existem numerosos problemas que a sociedade moderna deve enfrentar na busca por assegurar um provisão energético sustentável, ao mesmo tempo em que busca reduzir o uso energético que induz às alterações climáticas e às perdas da diversidade de espécies, como desmatamentos, ou de concorrência com a produção de alimentos, como no caso da cana-de-açúcar. O rápido aumento do consumo de energia global torna o problema ainda mais complicado. As crises energéticas vivenciadas têm mostrado como as sociedades são vulneráveis à geopolítica e às influências climatológicas para o seu abastecimento em energia.

Este contexto tem forçado muitas empresas a buscarem fontes alternativas de energia, como forma de diminuir a dependência das modalidades clássicas de fornecimento energético sem afetar a produtividade. Neste cenário, a empresa ambientalmente responsável está preocupada com os ganhos, mas também com o respeito aos recursos naturais e aos fatores sociais envolvidos em suas atividades. A implementação de medidas de mitigação de emissões, para que o crescimento econômico não gere prejuízos ambientais e sociais, é, atualmente, um dos maiores desafios do setor industrial.

Deste modo, deve-se atentar que as políticas públicas de incentivo à substituição da matriz energética por fontes mais limpas, bem como de incentivo à conservação de energia e à responsabilidade social das empresas, são essenciais para o direcionamento de recursos públicos, na busca de um desenvolvimento mais sustentável.

O presente trabalho apresentou um breve cenário atual e no médio prazo envolvendo o tema energia, no Brasil, considerando sua importância dentro do tema desenvolvimento sustentável, com destaque para as interações entre políticas públicas, setor industrial e consumo de energia. Procurou-se evidenciar que, muito mais do que um sacrifício para a economia nacional, a sustentabilidade ambiental deve ser vista como uma oportunidade para o desenvolvimento socioeconômico.

Por meio da revisão bibliográfica, foi possível observar que a sustentabilidade da utilização da energia requer o uso racional das fontes energéticas, a eficiência das transformações e do uso final da energia e a redução das emissões de poluentes. O aumento geral da eficiência energética e do emprego de fontes renováveis depende de políticas que reflitam sua prioridade.

Desta forma, os esforços no sentido de reduzir o uso de combustíveis fósseis e promover as fontes renováveis de energia devem levar em consideração aspectos da sustentabilidade ambiental, visto que todas as fontes energéticas podem causar danos ao meio ambiente; além de considerar aspectos sociais, como a priorização de tipos de energia associados à criação de mais empregos; e aspectos econômicos, entre eles a segurança no fornecimento e o preço. É importante que este último venha a refletir mais consistentemente, além de seus custos diretos, àqueles que oneram a sociedade, em termos da sustentabilidade.

Diante do apresentado, foi possível notar que, ainda, há muito espaço para ampliar a gestão governamental no setor de energia. Com relação às medidas de eficiência energética, vale enfatizar que ainda são modestos os resultados das ações pela maior eficiência no uso final de energia. A indústria, apesar de responder pelo maior consumo final energético no Brasil, não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética.

Estes focam mais no consumo da energia elétrica, enquanto que grande parte das oportunidades de economia de energia no setor industrial provém de processos térmicos, que possuem grande quantidade de equipamentos obsoletos. Deste modo, são necessários mais incentivos para que sejam introduzidas tecnologias que possam reduzir o consumo de energia no processo industrial, mantendo o mesmo nível de produção.

Outro aspecto importante a ser destacado é que o desenvolvimento da política energética deve ser flexível para ser revista em função de alterações do perfil da indústria do país. Como comentado, a definição do perfil industrial brasileiro tem grande impacto na quantidade e no tipo de energia final que teremos que produzir. Historicamente, setores energo-intensivos têm grande importância na pauta da produção brasileira, como ferro gusa e aço, papel e celulose, etc. A mudança desse perfil para produtos menos intensivos no uso de energia pode, no longo prazo, adicionar valor à nossa produção e exportações, além de alterar a demanda de energia no país.

Vale lembrar que, atualmente, o setor industrial, além de ser o maior consumidor de energia no Brasil, é um dos principais emissores de CO₂. Apesar do crescimento do consumo energético e as emissões deste setor serem menores do que os números apresentados pelo setor de transportes – o que evidencia a importância de realizar estudos futuros para esse setor de forma a verificar a contribuição do mesmo para o desenvolvimento sustentável brasileiro - a indústria brasileira merece especial atenção por possuir a matriz energética dependente, em grande parte, de combustíveis fósseis. Deste modo, é pertinente que se estude a sustentabilidade sob esse enfoque.

Muitos trabalhos vêm realizando análises comparativas voltadas para indústria, sendo que a maior parte limita-se a setores industriais específicos (análises intra-setoriais), garantindo a comparação de unidades homogêneas. Foi identificado, todavia, o trabalho de Mao et al. (2010), que realiza a comparação entre os setores industriais chineses (análise intersetorial), por meio de uma série de índices construídos estatisticamente.

No presente trabalho a comparação entre os setores industriais brasileiros foi realizada por meio da construção, com a ajuda da DEA, de um índice agregado de produção sustentável, que mensurou o desempenho dos setores industriais em transformar seus respectivos consumos energéticos e emissões de CO₂ em benefícios econômicos e sociais.

Como resultado, este estudo mostrou que o setor têxtil tem o maior desempenho em termos de contribuição para o desenvolvimento sustentável, considerando as variáveis utilizadas, seguido pelos setores de: Alimentos e Bebidas, Químico, Extrativo Mineral, Papel e Celulose, Não Metálicos e Metalúrgico.

Os setores Químico e de Alimentos e Bebidas, apesar de terem apresentado um bom nível de desempenho médio, também obtiveram um desvio padrão bastante elevado, o que pode ser explicado pelo fato desses setores terem apresentado, de um ano para o outro, melhorias expressivas e rápidas, que culminaram em garantir que o ano mais recente de cada janela se apresentasse com 100% no desempenho, em relação aos demais, fazendo aumentar a variabilidade.

Assim como os demais setores, o setor Extrativo Mineral, que foi o quarto no *ranking* de desempenho, aumentou o seu desempenho de janela para janela, o que prova que melhorou com o tempo. Os setores de Papel e Celulose e Não Metálicos apresentaram-se como o terceiro e segundo com menor desempenho, respectivamente, sendo que demonstraram alguma melhora com o passar dos anos, porém com baixo desvio padrão. Finalmente, o setor Metalúrgico foi o de menor desempenho, e não demonstrou melhoras nem pioras ao longo dos anos analisados.

Desta forma, responde-se a questão de pesquisa “Quais setores apresentam o menor desempenho com base no conceito de produção sustentável?”.

Ressalta-se, no entanto, que o índice proposto neste trabalho apresenta limitações relacionadas, principalmente, com a heterogeneidade das unidades comparadas, o que acaba fazendo com que o índice de desempenho obtido incorpore características estruturais dos setores, que são de difícil controle. Deste modo, a interpretação desse índice exige que sejam consideradas as particularidades de cada sistema produtivo, em suas interações com a sociedade, a economia e o meio ambiente.

Apesar de sua utilização exigir cuidados, o índice mensurado guarda importância no sentido de ser útil em termos de políticas públicas e ações setoriais ligadas a indústria e poderá:

- Contribuir para debates sobre a avaliação da sustentabilidade dos setores industriais, colaborando na identificação daqueles com as melhores práticas no que diz respeito aos aspectos sociais, econômicos e ao consumo de energia;
- Instruir decisões políticas com relação a incentivos governamentais, de modo a estimular o desenvolvimento dos setores industriais em busca de uma produção mais sustentável.

Existe, por exemplo, a possibilidade, mesmo que limitada, de transferência de tecnologia entre setores industriais, sendo que essas transferências se referem, principalmente, aos métodos de geração e utilização de energia, a partir de fontes mais limpas e eficientes.

Assim, de acordo com os resultados apresentados, enquanto o setor têxtil pode ser uma referência de boas práticas sustentáveis, devendo ser mais bem examinado, o setor metalúrgico pode ser merecedor de maior atenção, no que diz respeito a melhorias. Outra referência importante são os saltos de eficiência, tal qual o realizado pelo setor extrativo mineral entre 2005 e 2006, que se bem analisados e entendidos podem servir de parâmetro para melhorias em outros setores.

O índice agregado apresentado neste trabalho e o *ranking* dos setores industriais permitem, ainda, orientar a alocação de atenção e de recursos governamentais, em políticas de incentivo ou de proteção contra a concorrência externa, para setores estratégicos.

Como questão para pesquisas futuras, fica a pergunta se seria obtido o mesmo *ranking* de setores industriais, caso o mesmo procedimento metodológico fosse repetido em outros países. Outra análise interessante poderia ser a comparação do desempenho de um mesmo setor entre diferentes países, o que poderia dar origem a políticas públicas de transferência tecnológica, de natureza internacional.

Com relação às folgas, observou-se que a variável “Pessoas ocupadas” apresenta-se, de uma forma geral, como a que deve receber, mais prioritariamente, atenção a fim de que medidas sejam tomadas para modificá-la, de modo a aumentar o desempenho dos setores, do ponto de vista sustentável, seguidas por: Emissão de CO₂ por combustíveis fósseis, Gastos com pessoal, Consumo de energia e PIB setorial. No entanto, para o estudo do número eficiente de empregos em cada setor, são necessárias análises complementares sobre o nível de desemprego na sociedade, o nível produtivo de cada setor e as tecnologias disponíveis.

Da mesma forma, ressalta-se que a folga não pode ser interpretada como uma meta rígida, sendo apenas um indicativo de qual variável está sendo mais prejudicial para o desempenho deste setor em relação aos demais, do ponto de vista de produção sustentável. Esta consideração é importante, pois os setores apresentam processos produtivos diferentes entre si. Deste modo, pode acontecer, por exemplo, de não haver possibilidades de aumentar ou diminuir as variáveis, nas proporções indicadas pelas folgas, considerando a atual estrutura do setor e o cenário econômico que o país apresenta.

Deve-se salientar, portanto, que se trata de uma análise preliminar, sendo necessários outros estudos para verificar as reais possibilidades de medidas que diminuam, em módulo, os valores das folgas das variáveis, de modo a aumentar o desempenho dos setores industriais brasileiros em diminuir os impactos ambientais e beneficiar a sociedade, sem deixar de gerar crescimento econômico.

Os resultados apresentados, de maneira geral, precisam de cuidado na interpretação de tendências devido à limitação dos dados. Destaca-se que além das variáveis analisadas nesta pesquisa, que buscou contemplar os três pilares da sustentabilidade, para trabalhos futuros pode-se considerar que a adoção do conceito de sustentabilidade tem, como um dos principais objetivos, alcançar uma maior equidade na distribuição de renda, o que implicaria na inclusão de novas variáveis no estudo. Também, destaca-se a possibilidade de incluir variáveis relacionadas a outros impactos ambientais, sociais e/ou econômicos, além das já consideradas nesta análise, como, por exemplo, que ilustrem outros tipos de degradação ambiental, como a poluição da água pela indústria brasileira, a emissão de CO₂ por outros processos industriais que não estejam relacionados à utilização de energia, ou, ainda, que considerem outros poluentes atmosféricos, como o CH₄.

Conforme já destacado nesta pesquisa, é importante ressaltar que todos os setores industriais podem contribuir de forma significativa para o complexo desafio de promover o desenvolvimento econômico com melhorias sociais e respeito ambiental. No entanto, diante dos resultados da análise de desempenho, o presente trabalho analisou a estrutura de consumo do setor industrial de ferro gusa e aço, que compõe o setor de metalurgia, e do setor de cimento, que compõe o setor de não metálicos, a fim de melhor entender os resultados ao introduzir novos energéticos, que gerem benefícios ambientais, além de fornecer uma base de informações importante para melhorar o desempenho, destes segmentos, em relação ao desenvolvimento sustentável.

A comparação do nível de emissão do coque de carvão mineral e do carvão mineral (no setor de ferro gusa e aço) e do coque de petróleo (no setor de cimento) com os seus possíveis substitutos permitiu concluir que, devido à compensação do alto nível de emissão gerada pelo carvão vegetal com a captura de CO₂ durante a fotossíntese, a remoção do coque de carvão mineral e do carvão mineral na indústria de ferro gusa e aço e do coque de petróleo na indústria de cimento, no Brasil, é ambientalmente viável para a introdução do carvão vegetal, desde que este seja proveniente de matas de reflorestamento destinadas à indústria. Caso contrário, este energético é um dos maiores emissores de CO₂ do setor. Deste modo, responde-se a questão de pesquisa “Existe possibilidades de redução da emissão de CO₂ por meio da alteração da matriz energética nos setores industriais brasileiros com menor desempenho, considerando o contexto de produção sustentável?”, para o setor de ferro gusa e aço e para o setor de cimento.

No entanto, para a expansão da biomassa para geração de energia, deve ocorrer o gerenciamento das demandas competitivas da produção de alimentos e preservação das

matas nativas. Deste modo, destaca-se como possibilidade de futuros trabalhos a análise do impacto da demanda de carvão vegetal oriundo de reflorestamento, considerando as atuais áreas destinadas a este fim, além do risco de maior desmatamento e concorrência com a produção de alimentos.

É importante ressaltar, também, que este estudo não contemplou a demanda financeira que a substituição dos combustíveis na fábrica de cimento e na de ferro gusa e aço poderia exigir. Variações nos preços dos combustíveis podem contribuir na preferência pelo uso do Coque de Petróleo, Carvão Mineral ou Coque de Carvão Mineral e, até mesmo, impedir o uso do Carvão Vegetal e de outros combustíveis menos poluentes.

Apesar deste trabalho destacar o carvão vegetal como energético ambientalmente viável para os setores analisados, ressalta-se que não é o intuito desta pesquisa incentivar à utilização de uma única fonte de energia por determinado setor industrial. Tal procedimento comprometeria, entre outros aspectos, a segurança energética do setor. Além disso, ressalta-se a possibilidade de utilizar outros procedimentos para a mitigação das emissões nos setores em estudo, como a utilização de resíduos industriais utilizados como combustíveis, matérias-primas e substitutos de clínquer, no caso do setor de cimento; além de medidas de eficiência energética, como já comentadas, e de técnicas de captura e estocagem de carbono (CAC).

Entretanto, destaca-se que a utilização do Carvão Vegetal e outras fontes renováveis, também, resultaria numa redução de GEE. A redução dessas emissões de GEE poderia resultar em um ganho financeiro razoável para as empresas, caso elas promovessem um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para gerar Créditos de Carbono.

Já com relação à questão de pesquisa “As políticas governamentais desenvolvidas no setor energético incentivam a redução da emissão de CO₂ por meio da alteração da matriz energética do setor industrial brasileiro?”, para o caso da utilização do carvão vegetal, a resposta é afirmativa, mas com ressalvas. Existem leis que determinam a utilização de carvão vegetal proveniente de matas de reflorestamento, pelas indústrias. No entanto, o preço, de acordo com a bibliografia, não é vantajoso quando comparado com o coque de carvão mineral ou de petróleo e, além disso, ainda há muita comercialização de carvão vegetal de origem nativa, apesar de ser ilegal. Destaca-se que, apesar de existentes, há poucas referências às questões relacionadas a este combustível, devendo o país aprimorar suas políticas nesta área, com o devido cuidado para não prejudicar a competitividade da indústria brasileira ou comprometer outros aspectos ou setores do país, como o de produção de

alimentos ou a biodiversidade, visto que as matas de reflorestamento constituem-se, geralmente, de monoculturas.

Da mesma forma, salienta-se a importância de incentivos públicos para concretizar as mudanças na estrutura de consumo de energia, reduzindo, assim, os custos de conversão para as novas fontes de energia. Também, é importante um maior controle por parte dos órgãos de controle ambiental.

Além disso, a fim de obter melhores resultados e maiores incentivos em políticas de reflorestamento, são necessárias ações conjuntas que envolvam, além do governo, o setor privado, no que diz respeito às mudanças estruturais e às decisões de investimento; e os consumidores, a fim de incentivar a prática de processos industriais menos poluentes.

A proposta apresentada neste estudo, de substituir os combustíveis fósseis intensivos em carbono por fontes renováveis como uma estratégia de mitigação para os impactos relacionados com a poluição das atividades do setor de ferro gusa e aço e de cimento, podem ser replicadas a outros setores industriais. Se estas medidas forem aplicadas a todos os setores, seria possível reduzir grande parte da poluição gerada pelas atividades industriais, contribuindo assim para um futuro melhor para as gerações presentes e futuras.

Como futuros trabalhos destacam-se, ainda, estudos para verificar outras intervenções na indústria que permitam melhorar, além das emissões, outros aspectos ambientais e o pilar social e o econômico. Também, é possível analisar todo o ciclo de vida do produto, para as indústrias, a fim de melhor mensurar os impactos ambientais das mesmas. Tal abordagem consideraria, também, a emissão de outros poluentes e outras formas de degradação ambiental (poluição da água, desmatamento, etc.) durante todo o ciclo de vida do produto. Portanto, consideraria, inclusive, no caso da utilização de carvão vegetal como energético, o balanço de carbono da mata de reflorestamento.

Por fim, é importante ressaltar que o Brasil apresenta um grande potencial em relação ao uso de energias renováveis, devido ao clima adequado e à diversidade de terras para o cultivo de insumos energéticos renováveis. No entanto, há a necessidade de definir regras claras para a geração e uso de diferentes fontes de energia renovável, de forma que garanta a expansão do abastecimento de energia a partir de fontes diferentes, proporcionando maior estabilidade ao sistema e focando no desenvolvimento sustentável do país.

O presente trabalho buscou contribuir com informações qualitativas e quantitativas sobre as vantagens ambientais de se substituir fontes energéticas nos setores industriais com baixo desempenho relativo, dentro do contexto de produção sustentável. Com isso, espera-se que se tenha ampliado os conhecimentos referentes ao uso de fontes mais

limpas de energia nesses setores, contribuindo para o aumento do uso desses tipos de combustíveis na matriz energética brasileira, beneficiando a todos os *stakeholders* (empresários, acionistas, sociedade e etc.) com as inúmeras vantagens que a utilização dessas fontes energéticas pode oferecer.

Além disso, os resultados deste trabalho forneceram, ao setor privado, informações sobre a sua contribuição para o desenvolvimento sustentável do país, bem como, ao governo, subsídios para o estabelecimento de estratégias adequadas para reduzir o impacto ambiental pelo setor industrial.

Capítulo 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁵

AE. (2011). **Custo de energia renovável terá destaque na Rio+20**. AE, 19 de agosto de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/7831-custo-de-energia-renovavel-tera-destaque-na-rio20>>. Acesso em: 19 ago. 2011.

ABVE - Associação Brasileira do Veículo Elétrico. (2012). **Comentários da ABVE sobre o artigo "Carro Elétrico vale a pena?"**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo.asp?id=571&Cat=info>. Acesso em: 13 nov. 2012.

AGÊNCIA AMBIENTE ENERGIA. (2012). **Eólica: Brasil lidera mercado na América Latina**. Agência Ambiente Energia, 05 de março de 2012. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/10219-eolica-brasil-lidera-mercado-na-america-latina>. Acesso em: 05 mar. 2012.

AGÊNCIA AMBIENTE ENERGIA; AGÊNCIA SENADO. (2012). **Eficiência Energética: prioridade para indústria**. Agência Ambiente Energia / Agência Estado, 16 de março de 2012. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/10364-eficiencia-energetica-prioridade-para-industria>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

AGÊNCIA BRASIL. (2011). **Fontes alternativas devem reduzir custo de contas de luz**. Valor Econômico, 30 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/6205-fontes-alternativas-devem-reduzir-custo-de-contas-de-luz>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

AGÊNCIA ESTADO. (2012). **Siderúrgicas assinam acordo no Pará sobre meio ambiente**. Agência Estado, 23 de fevereiro de 2012. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-geral/10114-siderurgicas-assinam-acordo-no-para-sobre-meio-ambiente>>. Acesso em: 29 fev. 2012.

⁵ De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**.

ALMEIDA, F. (2002). **O Bom Negócio da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

ALVARENGA, D. (2011). **Indústria extrativa é destaque do PIB em 2010, com alta de 15,7%**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/economia/noticia/2011/03/industria-extrativa-e-destaque-do-pib-em-2010-com-alta-de-157.html>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

AMBIENTE ENERGIA. (2012). **Consumo racional: na direção certa**. Ambiente Energia, 13 de fevereiro de 2012. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 14 fevereiro 2012.

ANAMACO – Associação Nacional dos Comerciantes de Material de Construção. (2012). **Construção e indústria pouco avançam**. Disponível em: <<http://novo.anamaco.com.br/noticia-interna.aspx?uid=432>>. Acesso em: 31 jul. 2012

ANAND, S, SEN, A. (2000). Human Development and Economic Sustainability. **World Development**, v. 28, n. 12, p. 2029-2049.

ANDERSSON, K; JOHNSON, F. (2006). Process evaluation of an 865 MW_e lignite fired O₂/CO₂ power plant. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 3487–3498.

ANDRADE, J.M.F; DINIZ, K.M. (2007). **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar: Subsídios para a Gestão**. Monografia (Especialização) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (2011). **Divulga alguns dados relativos a geração de eletricidade no Brasil**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 01 dez. 2011.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (2002). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 1. Ed. Brasília: ANEEL, 2002.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (2008). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3. Ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. (2012). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. Ed. 2012. Disponível em: www.anfavea.com.br. Acesso em: 18 jul. 2012.

ANGELE; H.C. (2011). Balanço energético e balanço ambiental: redução de custos e promoção da imagem. **Swisscam Brasil Magazine**. Ed. 66. Disponível em: www.swisscam.com.br >. Acesso em: 29 nov. 2011.

ARAÚJO, J. B. (2010). **Desenvolvimento de método de avaliação de desempenho de processos de manufatura considerando parâmetros de sustentabilidade**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ARROW, K. *et al.* (1995). Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment. **Science**, v.268, p.520-521.

ASPE - AGÊNCIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. (2011). **Fontes de Energia Secundária**. Disponível em: <http://www.aspe.es.gov.br/crea-es/1/1244.htm> > Acesso em 22 novembro 2011.

AYCAGUER, A.C.; Miriam LEV-ON, M.; WINE, A. M. (2001).Reducing Carbon Dioxide Emissions with Enhanced Oil Recovery Projects: A Life Cycle Assessment Approach. **Energy & Fuels**, v. 15, p. 303-308

BANCO MUNDIAL. (2012). **Apresenta diversas informações relativas aos países**. Disponível em: < <http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

BANKER, R.D., CHARNES, A., COOPER, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, v. 30, p. 1078-1092.

BARKER, D. J. et al. (2009) CO₂ Capture in the Cement Industry, **Energy Procedia**, v.1, p. 87-94.

BASTIN, C.; SZKLO, A.; ROSA, L. P. (2010). Diffusion of new automotive technologies for improving energy efficiency in Brazil's light vehicle fleet. **Energy Policy**, v. 38, n. 7, p. 3586-3597.

BELAISSAOUI, B. *et al.* (2012). An energetic analysis of CO₂ capture on a gas turbine combining flue gas recirculation and membrane separation. **Energy**, v. 38, p. 167-175.

BELKE, A., DOBNIK, F., DREGER, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 782-789.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2010** (Ano-Base 2009). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>>. Acesso em: 04 nov. 2010.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2011** (Ano-Base 2010). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2011.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2012** (Ano-Base 2011). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 19 nov. 2012.

BENHELAL, E., G. *et al.* (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 142-161.

BERNI, M.D, *et al.* (2008). Brazilian and other countries' pulp and paper industry: an assessment between emission levels and energy efficiency indexes. **O Papel (Brazil)**, v. 69, n.11, p. 87-96.

BLANCARD, S.; HOARAU, J. F. (2013). A new sustainable human development indicator for small island development states: a reappraisal from data envelopment analysis. **Economic Modelling**, v. 30, p. 623-635.

BORBA, Roberto Ferrari. (2001). **Balanco Mineral Brasileiro** - Carvão Mineral. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 21 outubro 2011.

BP. (2010). **Statistical Review of World Energy 2010**. Divulga informações relativas ao mercado energético mundial. Disponível em: <www.bp.com>. Acesso em: 02 fev. 2010.

BRAGA, C. (Org.). (2007). **Contabilidade ambiental**: ferramenta para a gestão da sustentabilidade, São Paulo: Atlas, 2007.

BRAGA, Benedito *et al.* (2002). **Introdução À Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BURDA, A. E.; BALTAZAR, B. P. M.; BERNARDO, J. I. (2011). Evolution of renewable energy in Brazil. **3rd International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact**, ICCEP 2011. Ischia. 316-319 p.

BURKE A. F. (1992). Hybrid/electric vehicle design options and evaluations. **SAE International Paper**; 1992.

CALOU, S. M. (2013). **A necessidade de ajustes na política energética do país**. Valor Econômico, 11 de janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/13856-a-necessidade-de-ajustes-na-politica-energetica-do-pais>. Acesso em: 14 jan. 2013.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia Científica**, 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CEZAR, G. (2012). **Modernização da indústria reduz emissão veicular**. Valor Econômico, 20 de julho de 2012. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/petroleo-e-gas/11694-modernizacao-da-industria-reduz-emissao-veicular>. Acesso em: 23 jul. 2012.

CHARNES, A., COOPER, W.W., RHODES, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p.429-444.

CHARNES, A. *et al.* (1985). Foundation of Data Envelopment Analysis for Pareto – Koopmans Efficient Empirical production functions. **Journal of Econometrics**, v. 30, p. 91-107.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. (2002). **Indústria Sustentável no Brasil**. Agenda 21: cenários e perspectivas. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.cni.org.br>. Acesso em: 08 set. 2011.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. (2009). **Mudança do Clima: uma contribuição da indústria**. Brasília, 2009. Disponível em: < <http://www.cni.org.br>>. Acesso em: 08 set. 2011.

COELLI, T. *et al.* (1998). **Introduction to efficeience and productivity analysis**. Massachussets Kluwer Academic Pulishers.

COMGAS - COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. **Gás Natural na Indústria**. Disponível em: < http://www.comgas.com.br/sou_industrial/gasnatural/segmentos.asp>. Acesso em: 09 janeiro 2012.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (2011). **A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**, Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf>. Acesso em: 09 dezembro 2011.

CONPET. (2011). **Apresenta informações sobre o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural**. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/w3/>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

COOPER, W. W *et al.* (2000). **Date Envelopment Analysis: a comprehensive Text with models, applications, reference and DEA–Solver software**. 1 ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers.

D'AGOSTO, M.A.; RIBEIRO, S. K. (2008). Assessing total and renewable energy in Brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1326–1337.

DCI. (2011). **O futuro da energia brasileira**. DCI, 21 de junho de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/7217-o-futuro-da-energia-brasileira>>. Acesso em: 21 jun. 2011.

DENG, Y. Y.; BLOK, K.; LEUN, K. D.V. (2012). Transition to a fully sustainable global energy system. **Energy Strategy Reviews**. v. 1, n. 2, p. 109-121.

DIÁRIO DO NORDESTE. (2011). **Brasil alcança marca de 1 gigawatt gerada nos paques eólica**. Diário do Nordeste (CE), 10 de julho de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/7404-brasil-alcanca-marca-de-1-gigawatt-gerada-nos-paques-eolica>>. Acesso em: 11 jul. 2011.

DIAS, R. (2007). **Gestão Ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2007.

DIAS, M. S.; MATTOS, J. R. L. (2010). Brazilian nuclear renaissance in a sustainable development scenario. **International Conference on the Physics of Reactors 2010, PHYSOR 2010**. Pittsburgh, PA. p. 3523-3532.

DONAIRE, D. (1999). **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

DUTRA, R. M.; SZKLO, A. S. (2008). Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, v. 33, n. 1, p. 65-76. 2008.

ELETROBRAS (2011). **Site da Eletrobrás**. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

ELETROBRAS PROCEL. (2012). **Relatório Procel 2012** (Ano-Base 2011). Divulga informações relativas aos resultados das atividades do programa PROCEL. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 24 abr. 2012.

ELKINGTON, J. (1994). Towards the sustainable corporation: win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, Berkeley, v.36, n.3, p. 90-100, Spring, 1994.

ELKINGTON, J. (2001). **Canibais com garfo e faca**. São Paulo: Makron Books, 2001.

ENNES, J. (2011). **Próximo leilão de energia vai dar mais espaço para ls a gás**. Valor Econômico, 29 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/6169-proximo-leilao-de-energia-vai-dar-mais-espaco-para-termicas-a-gas>>. Acesso em: 29 mar. 2011.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. (2011). **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020**. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2011.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. (2012a). **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2021**. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2011.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. (2012b). **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br> >. Acesso em: 17 out. 2012.

ERBER, P. (2011). **Uma Política Energética para o Desenvolvimento Sustentável**. INEE, 01 de setembro de 2011. Disponível em: <http://www.inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo.asp?id=520&Cat=info>. Acesso em: 01 set. 2011.

EXTRA ONLINE. (2011). **Energia eólica recebe R\$ 25 bilhões e vai produzir mais que Belo Monte**. Extra Online, 16 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/6768-energia-eolica-recebe-r-25-bilhoes-e-vai-produzir-mais-que-belo-monte>>. Acesso em: 16 mai. 2011.

FACCHINI, C. (2013.) **Resistência às eólicas cresce e setor tenta reagir**. Valor Econômico, 26 de junho de 2013. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-geral/15121-resistencia-as-eolicas-cresce-e-setor-tenta-reagir>>. Acesso em: 01 ago. 2013.

FALCÃO, M. (2011). **Crescem apostas nas PCHs**. Diário de Pernambuco, 11 de abril de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/6345-crescem-apostas-nas-pchs>>. Acesso em: 11 abr. 2011.

FARIA, R. *et al.* (2012). A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. **Energy Conversion and Management**, v. 61, p. 19–30.

FARRELL, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, series A, v. 120, n. 3, p. 253-281.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. **Climatic Change**, v. 66, p.1-8, 2004.

FERNANDES, J.V.G. *et al.* (2001). Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.6, n.3, p.157-164, out./dez.

FREITAS, L.C.; KANEKO, S. (2011). Decomposition of CO₂ emissions change from energy consumption in Brazil: Challenges and policy implications. **Energy Policy**, v. 39, p. 1495-1504.

FREITAS, I. M. B.; DANTAS, F.; IIZUKA, M. (2012). The Kyoto mechanisms and the diffusion of renewable energy technologies in the BRICS. **Energy Policy**, v. 42, p.118-128.

FREIRE, L.M. *et al.* (2011). Perspectives of Smart Grid in the Brazilian Electricity Market. **IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Latin America SGT LA 2011 - Conference Proceedings**, n. 6083181.

FOLHA. (2011). **Energia eólica já é mais barata do que a térmica a gás no Brasil**. Folha, 19 de agosto de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/7832-energia-eolica-ja-e-mais-barata-do-que-a-termica-a-gas-no-brasil>>. Acesso em: 19 ago. 2011.

FOLHA. (2011). **Energia solar passa a ter incentivo e deve seguir o rastro da eólica**. Folha, 23 de agosto de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/7856-energia-solar-passa-a-ter-incentivo-e-deve-seguir-o-rastro-da-eolica>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

FUSCO, C. (2011). **Índia dá exemplo em energia nuclear**. Folha de São Paulo, 30 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/6202-qindia-da-exemplo-em-energia-nuclearq>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

GELLER, H., R. *et al.* (2004). Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, v.32, n.12, p.1437-1450.

GIFFONI, C. (2012). **Mineração paga salários mais altos**. Valor Econômico, 26 de junho de 2012. Disponível em: <<http://amazonia.org.br/2012/06/minera%C3%A7%C3%A3o-paga-sal%C3%A1rios-mais-altos/>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

GIL, A. C. (1991). **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GLAVIC, P; LUKMAN, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1875 -1885.

GOLD, R. (2011). **Energia renovável ainda enfrenta obstáculos**. Valor Econômico/The Wall Street Journal, 05 abril de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/6281-energia-renovavel-ainda-enfrenta-obstaculos>>. Acesso em: 05 mar. 2011.

GOLDEMBERG, J. (2009.). Biomassa e energia. **Química. Nova**, v.. 32, n.. 3, p. 582-587.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. (2008). **Energia, Ambiente & Desenvolvimento**. 3. ed. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. (2005). Política energética no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 55, p. 215-228.

GROSSMAN, G. M., KRUEGER, A. B., (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. **Discussion Papers in Economics**, n. 3914.

HAMZAH, M.O. *et al.* (2010). Evaluation of the potential of Sasobit® to reduce required heat energy and CO₂ emission in the asphalt industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1859-1865.

HART,S. L.; MILSTEIN, M. B. (2003). Creating sustainable value. **Academy of Management Executive**, v. 17, n. 2.

HATTENBERGER M.(2011). O potencial da energia eólica e solar no Brasil. **Swisscam Brasil Magazine**. Ed. 66. Disponível em: <www.swisscam.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2011.

HENRIQUES, I., SADORSKY, P. (1996). The determinants of an environmentally responsive firm: An empirical approach. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 30, p. 381-395.

HOLLANDA, J. B.; ERBER, P. (2011). Eficiência Energética da Biomassa no Brasil. **Swisscam Brasil Magazine**. Ed. 66. Disponível em: <www.swisscam.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2011.

HORN, F.; STEINBERG, M. (1982). Control of carbon dioxide emissions from a power plant (and use in enhanced oil recovery). **Fuel**, v. 61, n. 5, p. 415-422.

HUESEMANN, M.H. (2003). The limits of technological solutions to sustainable development. **Clean Techn Environ Policy**, v. 5, p. 21-34.

IAB - INSTITUTO AÇO BRASIL. (2012). **Número de mercado, Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp>> Acesso em: 31 mar. 2012.

IAB - INSTITUTO AÇO BRASIL. (2010). **Relatório de Sustentabilidade 2010**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/index.asp>. Acesso em: 12 jul. 2012.

IEA – International Energy Agency. (2008). **World Energy Outlook: Energy and Development**. Disponível em: <<http://www.iea.org/weo>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2011). **Pesquisa Industrial Anual – Empresa**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 04 nov. 11.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. (2011). **Brasil não investe em energias renováveis modernas, diz ONU**. Inovação Tecnológica, 05 de dezembro de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/9233-brasil-nao-investe-em-energias-renovaveis-modernas-diz-onu>>. Acesso em: 05 dez 2011.

IPAM - INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Difusão nos oceanos**. 2013. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br>> Acesso em: 11 jul. 2013.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (1996). **Greenhouse gas inventory reporting instructions** – Revised IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, London.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2005). **Special report on carbon dioxide capture and storage**. Geneva, Switzerland: International Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc-wg3.de/publications/special-reports/special-report-on-carbon-dioxide-capture-and-storage>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2007). **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2011). **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <<http://srren.ipcc-wg3.de/report>>. Acesso em: 09 set. 2011.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. (2010). **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília, Ipea, 2010.

ISTO É DINHEIRO. 2011. **Votorantim Engaja Clientes**. Isto é Dinheiro, 06 de abril de 2011.

JABBOUR, C. J. C. (2010). Non-linear pathways of corporate environmental management: a survey of ISO 14001 certified companies in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1222-1225.

JACOMINO, V. M. F. *et al.* (2002). **Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002.

JORNAL DA ENERGIA. (2012). **Smart grid: evolução do mercado no Brasil**. Jornal da Energia, 02 de julho de 2012. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 03 jul. 2012.

JORNAL DO BRASIL. (2011). **Aumento de produção da energia eólica vem viabilizando o custo da geração, avalia a Abeeólica**. Jornal do Brasil/ Agência Brasil, 18 de julho de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de>>

energias-alternativas/7481-aumento-de-producao-da-energia-eolica-vem-viabilizando-o-custo-da-geracao-avalia-a-abeeolica.> Acesso em: 18 jul. 2011.

JRC - Joint Research Centre (Centro Comum de Investigação da União Européia). 2011. **Long-term trend in global CO₂ emissions**. Disponível em: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/CO2%20Mondiaal_%20webdef_19sept.pdf. Acesso em: 27 set. 2011.

KALLEBERG, A. L; RESKIN, B. F; HUDSON, K. (2000). Bad jobs in america: standard and nonstandard employment relations and job quality in the United States. **American Sociological Review**, v. 65, p. 256-278.

KE, J., M et al. (2013). Estimation of CO₂ emissions from China's cement production: Methodologies and uncertainties. **Energy Policy**, v. 57, p. 172-181.

KIM, Y.; WORRELL, E. (2002). CO₂ emission trends in the cement industry: An international comparison. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 7, n. 2, p. 115-133.

KLINE, J.; BARCELO, L. (2012). Cement and CO₂, a victim of success!, In: **IEEE Cement Industry Technical Conference (Paper)**. San Antonio, TX.

KOLK, A., PINKSE, J., 2004. Market strategies for climate change. **European Management Journal**. v. 22, p. 304-314.

KPMG. (2011). **Energy & Natural Resources** – Taxes and Incentives for Renewable Energy.

Disponível em:
<<http://www.kpmg.com/global/en/issuesandinsights/articlespublications/pages/taxes-incentives-renewable-energy.aspx>>. Acesso em: 24 jul. 2012.

KURAMOTO, E.(2011). **O Brasil na mão certa da política nuclear**. Valor Econômico, 27 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/8225-o-brasil-na-mao-certa-da-politica-nuclear>>. Acesso em: 27 set. 2011.

KUZNETS, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**, v.45, n.1.

LA ROVERE, E. L.; PEREIRA, A. S.; SIMÕES, A. F. (2011). Biofuels and Sustainable Energy Development in Brazil. **World Development**, v.39, n.6, p. 1026-1036.

LIMA, Mariana Sarmanho de Oliveira (2007). **O Gás Natural como Alternativa Energética para a Indústria Têxtil: Vantagem Competitiva ou Estratégia de Sobrevivência?** Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LIMA, J.A.R. (2010). **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LIOR, N. (2010). The current status and possible sustainable paths to energy “generation” and Use. **Nuclear & Renewable Energy Conference (INREC)**, 2010 1st International.

LUCENA, A. F. P. *et al.* (2009). The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, p. 879-889.

LUCON, J.; GOLDEMBERG, G.(2007). Energia e meio Ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20. 2007.

LUKEN, R., CASTELLANOS-SILVERIA, F. (2011). Industrial transformation and sustainable development in developing countries. **Sustainable Development**, v. 19, p. 167-175.

MAIA, S.; PEDROSO, R.; NOGUEIRA, M. (2011). **Lobão e Tolmasquim divergem sobre usinas nucleares.** Valor Econômico, 16 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/8113-lobao-e-tolmasquim-divergem-sobre-usinas-nucleares>>. Acesso em: 16 set. 2011.

MAO, J. *et al.* (2011). Quantification of energy related industrial eco-efficiency of China. **Frontiers of Environmental Science and Engineering in China**, v.5, n. 4, p. 585-596.

MARCOVITCH, J. (Org.). (2009). **Mitigação de gases de efeito estufa: a experiência setorial e regional no Brasil.** São Paulo: FEA/USP. Disponível em: <http://www.usp.br/mudarfuturo/cms>. Acesso em: 11 jul. 2013.

MARIANO, E. B. (2008). **Sistematização e Comparação de Técnicas, Modelos e Perspectivas não-paramétricas de análise de Eficiência Produtiva**. São Carlos, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MAXPRESS. (2012). **O setor industrial e a busca pela eficiência energética**. Maxpress, 08 de março de 2012. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

MELO, V. (2012). **As perspectivas do smart grid no país com as primeiras cidades inteligentes**. Procel Info, 03 de agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS8D1AC2E8ITEMID7B90096340124A0A9211777E08711B34PTBRIE.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2012.

MIKULČIĆ, H., M. et al. Reducing the CO₂ emissions in Croatian cement industry. **Applied Energy**, v. 101, p. 41-48, 2013.

MIKULČIĆ, H. et al. The application of CFD modelling to support the reduction of CO₂ emissions in cement industry. **Energy**, v. 45, n. 1, p. 464-473, 2012.

MILLER, G. T. **Living in the Environment**. Califórnia, Wadsworth Pub. Inc., 1985.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2008) **Contribuição do Brasil para evitar a mudança do clima**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/73006.html>. Acesso em: 16 abr. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2006) **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17349.html>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. (2010). **Conjuntura Setores Industriais**. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. (2011). **Site do Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. (2007). **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

MOERIA, E. (2011). Energia e Sustentabilidade. **Swisscam Brasil Magazine**. Ed. 66. Disponível em: <www.swisscam.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2011.

NASTARI, P. M. (2010). **O próximo desafio do setor sucroalcooleiro** - Setembro de 2010. Agroanalysis,. Disponível em <http://www.agroanalysis.com.br/index.php?area=conteudo&mat_id=445&from=mercado_negocios>. Acesso em: 22 mar. 2012.

NARODOSLAWSKY, M., ET AL. (2008). Utilising renewable resources economically: new challenges and chances for process development. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 164-170.

NIU, S. *et al.* (2011). Economic growth, energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries. **Energy Policy**, v. 39, n. 4, p. 2121-2131.

OGGIONI, G., *et al.* (2011). Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis. **Energy Policy**, v. 39, p. 2842 – 2854.

OLIVEIRA, G. (2010). Créditos de Carbono. **Revista da FIEC** (Federação das Indústrias do Estado do Ceará), 28 de fevereiro de 2010. Ed. 33. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/portalv2/sites/revista/home.php?st=interna2&conteudo_id=34814>. Acesso em: 14 jan. 2013.

ONU. Organizações das Nações Unidas.(2010). **Apresenta o texto da Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**, realizada em Nova Iorque no dia 9 de maio de 1992. Disponível em: < http://www.onu-brasil.org.br/doc_clima.php>. Acesso em: 01 out. 2010.

PAZ, L. R. L.; SILVA N.F.; ROSA, L.P. (2007). The paradigm of sustainability in the Brazilian energy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.11. n. 7. p. 1558-1570. 2007.

PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F. (2011). The challenge of energy poverty: Brazilian case study. **Energy Policy**, v. 39, p. 167-175.

PERRELS, A. (2008). Wavering between radical and realistic sustainable consumption policies: in search for the best feasible trajectories. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 11, p. 1203-1217.

PETROBRAS (2012). **Para o seu negócio Industrial**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/produtos/para-o-seu-negocio/industrial/>>. Acesso em: 09 janeiro 2012.

PLANO NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA – PNMC. (2008). Brasília, 2008. **Divulga informações referentes à integração e harmonização de políticas públicas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 01 abr. 2012.

PNE 2030. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007. **Divulga informações referentes ao planejamento de longo prazo no setor energético do país**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 4 nov. 2010.

PORTER, M.E.; LINDE, C. (1995). Green and Competitive: Ending the Stalemate. **Harvard Business Review**. September - October, 1995.

PRESIDÊNCIA (2012). **Apresenta todo o material legislativo produzido na história do Brasil**. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/presidencia/legislacao>>. Acesso em: 21 ago. 2012.

PRADO, T. G. F.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. (2008). The Brazilian Renewable Energy Incentive Program - The Second Phase of the PROINFA: Assessing Policy Efficiency And Barriers in Long-term Scenarios. **Energy 2030 Conference**, 2008. ENERGY 2008. IEEE.

RAMANATHAN, R. (2006). A multi-factor efficiency perspective to the relationships among world GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 73, p. 483-494.

RESULTADOS PRELIMINARES BEN. (2010). Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional 2010 (Ano-Base 2009). **Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100429_1.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2010.

RESULTADOS PRELIMINARES BEN. (2012). Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional 2012 (Ano-Base 2011). **Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia.** Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENResultadosPreliminares2012.aspx>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

RIBEIRO, R. **Carro a hidrogênio une fabricantes, mas falta infraestrutura** Folha, 18 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/14169-carro-a-hidrogenio-une-fabricantes-mas-falta-infraestrutura>. Acesso em: 18 fev. 2013.

RIGHETTI, S. (2011). **Explosão põe na berlinda modelo de usinas nucleares no Japão.** Folha de São Paulo, 13 de março de 2011. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mundo/888009-explosao-poe-na-berlinda-modelo-de-usinas-nucleares-no-japao.shtml>>. Acesso em: 13 mar. 2011

ROCHA, José Dilcio. (2011). **O carvão vegetal no Brasil e a produção de aço verde.** Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2011/o-carvao-vegetal-no-brasil-e-a-producao-de-aco-verde>>. Acesso em: 07 dezembro 2011.

ROMEIRO, Solange Bianco Borges. (1997). **Química na Siderurgia.** Porto Alegre: UFRGS, 1997.

RUSINKO, C. A. (2007). Green Manufacturing: an evaluation of environmentally sustainable manufacturing practices and their impact on competitive outcomes. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 54, n. 3, 2007, p. 445–454.

SALAZAR, M.B. (2012). **Demanda de energia na indústria brasileira:** efeitos da eficiência energética. Piracicaba, 2012. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SALVI, H. (2011). **Produção deve crescer 5% para seguir ritmo econômico.** O Povo On Line, 10 de março de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-eletricidade/5898-producao-deve-crescer-5-para-seguir-ritmo-economico>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

SANTOS, E. M. et al. (2002). **Gás natural: estratégias para uma energia nova no Brasil.** 1.ed. São Paulo: ANNABLUME, 2002. 352p. ISBN 85-7419-285-6

SCHELLER, F. (2012). **Projetos para desenvolver a energia solar começam a sair do papel**. O Estado de São Paulo, 20 de março de 2012. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/10383-projetos-para-desenvolver-a-energia-solar-comecam-a-sair-do-papel>. Acesso em: 20 mar. 2012.

SCHENEIDER, M. *et al.* (2011). Sustainable cement production - present and future. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n.7, p. 642-650.

SEFAZ. **Consultas on-line – valor real pesquisado**. (2013). Disponível em: <http://www1.sefaz.ms.gov.br/Pauta/> Acesso em: 11 jul. 213.

SEN, A. (1999). **Development as a freedom**, 1 ed. Oxford University Press.

SHIMONISHI, M. L. S. (2005). **Análise por Envoltória de Dados Aplicada na Avaliação de Empregos dos Recursos Humanos dos Centros Municipais de Educação Infantil do Município de Maringá**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

SILVA, C. (2013). **Caminho até carro híbrido e elétrico é longo no Brasil**. AE, 04 de fevereiro de 2013. Disponível em:< <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/14029-caminho-ate-carro-hibrido-e-eletrico-e-longo-no-brasil> >. Acesso em: 04 fev. 2013.

SILVA, F. I. A.; GUERRA, S. M. G. (2009). Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector - 1995 to 2005. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2589-2596. 2009.

SILVA, O.L.P.D.A, GUIMARÃES, L.D.S. (2010). Why Brazil needs nuclear power. **Nuclear Engineering International**, v.55, n. 669, p. 23-25.

SIMÕES, A. F.(2003). **O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação**. 2003. 228p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2003.

SIMÕES, A.; LA ROVERE, E.L. (2008). Energy Sources and Global Climate Change: The Brazilian Case. **Energy Sources Part A: Recovery, Utilization & Environmental Effects**. v. 30, n. 14/15, p.1327-1344. 2008.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. (2010). **Relatório Anual 2010**. Disponível em: < <http://www.snic.org.br/> >. Acesso em: 19 set. 2012.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. (2012). **Etapas de produção**. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

SOMERVILLE, C. (2005). Energy from Biomass. Workshop presentation for the InterAcademy Council study report, **Lighting the Way: Toward a Sustainable Energy Future**, IAC, Amsterdam.

SMULDERS, S.; BRETSCHGER, L.; EGLI, H. (2011). Economic Growth and the Diffusion of Clean Technologies: Explaining Environmental Kuznets Curves. **Environmental and Resource Economics**, v. 49, p.79-99.

SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M.T. (2000). Energy efficiency and reduction of CO₂ emissions through 2015: The Brazilian cement industry. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 5, n.3, p. 297-318.

SOUZA, M.M. 2011. **Produtores de ferro-gusa enfrentam sua pior crise**. Valor Econômico, 20 de outubro de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-geral/8596-produtores-de-ferro-gusa-enfrentam-sua-pior-crise>>. Acesso em: 20 out. 2011

SURI, V.; CHAPMAN, D. (1998) Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. **Ecological Economics**, v. 25, p. 195–208.

SWIFT-HOOK, D. T. (2012). The case for renewables apart from global warming. **Renewable Energy**, v. 49, p. 147-150.

SZKLO, A.S. *et al.* (2005). Brazilian energy policies side-effects on CO₂ emissions reduction. **Energy Policy**. v. 33, n. 3. p. 349-364.

TIAGO FILHO, G. L. *et al.* (2011). Analysis of Brazilian SHP policy and its regulation scenario. **Energy Policy**, v.39, n.10, p.6689-6697.

TOLMASQUIM, M. T.; COHEN, C.; SZKLO, A. S. (2001). CO₂ emissions in the Brazilian industrial sector according to the integrated energy planning model (IEPM). **Energy Policy**, v.29, n.8, p.641-651.

TOMASULA, P. M., NUTTER, D. W. (2011). Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in the Production of Fluid Milk. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 62, p. 41-88.

TONE, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 130, p. 498–509.

UNDP – United Nations Development Programme. (2012). **Human Development Report 2011**. Disponível em: <<http://www.undp.org>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

UHLIG, A. GOLDEMBERG, J. COELHO, S.T. (2008). O uso de carvão vegetal na indústria brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 67-85.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME - UNEP. (1996). **Cleaner Production: A training resource package**. Paris: UNEP (Industry and Environment), 1996.

VALOR. (2012). **Investimentos em geração solar quadruplicam**. Valor, 18 de julho de 2012. Disponível em: <http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/11654-investimentos-em-geracao-solar-quadruplicam>. Acesso em: 18 jul. 2012.

VALOR ECONÔMICO. (2010). **Quatro Estados são candidatos a instalação de usinas nucleares**. Valor Econômico, 20 de outubro de 2010. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/4021-quatro-estados-sao-candidatos-a-instalacao-de-usinas-nucleares>>. Acesso em: 21 out. 2010.

VALOR ECONOMICO. (2011). **Programa nuclear brasileiro está sendo reavaliado, mas sem prazo**. Valor Econômico / Agência Brasil, 28 de julho de 2011. Disponível em: <<http://www.power.inf.br/site/todas-as-noticias-de-energias-alternativas/7602-programa-nuclear-brasileiro-esta-sendo-reavaliado-mas-sem-prazo>>. Acesso em: 29 jul. 2011.

VALOR ECONÔMICO. (2012). **Grandes gestores focam economia verde**. Valor Econômico, 31 de julho de 2012. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 06 ago. 2012.

VATOPOULOS, K.; TZIMAS, E. (2012). Assessment of CO₂ capture technologies in cement manufacturing process. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 251-261.

VEIGA FILHO, A. A.; RAMOS, P. (2006). Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 7.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. (2009). Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quím. Nova [online]**, v.32, n.3, p. 757-767. 2009.

VIRTANEN, T.; TUOMAALA, M.; PENTTI, E. Energy Efficiency Complexities: A Technical and Managerial Investigation. **Management Accounting Research**, 2013.

WALTER, A. (2007). As Mudanças Climáticas e a Questão Energética. **Revista Multiciência**, Edição n.º. 8.

WERNET, G. *et al.* (2011). The Environmental Importance of Energy Use in Chemical Production. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n.1, p. 96-107.

WILLIAMS, P.E. (2009). Fusion for Earth and Space. **AIP Conference Proceedings**, v 1103, p. 459-465.

WILLS, W.; LA ROVERE, E. M. (2010). Light vehicle energy efficiency programs and their impact on Brazilian CO₂ emissions. **Energy Policy**, v. 38, p. 6453–6462.

WORRELL, E.; MARTIN, N.; PRICE, L. (2000). Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry. **Energy**, v. 25, n. 12, p. 1189-1214.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. (1998). **Cleaner Production and Eco-efficiency: complementary approaches to sustainable development**. Geneva: WBCSD, 1998.

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. (2000). **Eco-efficiency creating more value with less impact**. Geneva: WBCSD, 2000.

WBCSD; IEA. (2009). **Cement Technology Roadmap 2009**, Carbon Emissions Reduction up to 2050, World Business Council for Sustainable Development and International Energy Agency, Paris. Disponível em: <

<http://www.wbcsdcement.org/index.php/key-issues/climate-protection/technology-roadmap>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1987). **Our common future**. Oxford: WCED, Oxford University Press, 1987.

ZHANG, H.; L. Li et al. (2011). Comparison of renewable energy policy evolution among the BRICs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.9, p.4904-4909.

ZIMMERMANN, M. (2010). **Ciclo de Palestras – Minas e Energia**. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/site/?cat=503>>. Acesso em: 28 jan. 2011.

APÊNDICE A – TESTES PARA A UTILIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS NA DEA

Os *inputs* “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis” e “consumo energético” não são totalmente independentes, uma vez que apresentam sobreposição de informações. A parte do “consumo energético” relativo a combustíveis fósseis é base para o cálculo da variável “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis”. Logo, cogitou-se a possibilidade de não haver a necessidade de considerar as duas variáveis para a análise de desempenho. Porém, apesar dessa sobreposição, as duas variáveis fornecem informações diferentes e complementares.

A variável “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis” leva em conta qual é a composição da matriz energética do setor, já que em seu cálculo são atribuídos pesos diferentes para a energia proveniente de cada fonte, baseados no quanto cada fonte polui, de modo que essa variável não considera a energia gerada por fontes renováveis. Sendo assim, o principal motivo dessa variável ter sido incluída na análise é porque ela pode mensurar o impacto da substituição de fontes de energia fósseis por outras mais limpas.

A variável “consumo energético” por outro lado, soma todo o consumo em energia, inclusive o proveniente de fontes mais limpas, sem fazer nenhuma diferenciação pela fonte. Deste modo, como além da substituição por fontes mais limpas é igualmente importante que se reduza o consumo energético como um todo, já que mesmo as fontes ditas limpas possuem algum impacto ambiental, é interessante que essa variável também seja incluída na análise.

Em muitas situações, as variáveis “emissões de CO₂ por combustíveis fósseis” e “consumo energético” podem ser consideradas quase independentes, já que as emissões podem ser diminuídas mudando-se a composição da matriz energética, sem alterar o consumo, e o consumo pode ser diminuído por meio da redução do consumo de fontes renováveis, ou pouco poluentes. Porém, um viés surgirá para setores em que o consumo energético de fontes fósseis é mais alto, já que para elas qualquer redução de consumo energético sugerida pela DEA acabará também gerando automaticamente uma redução de CO₂, e isso não poderá ser considerado na análise. Esse viés acabará penalizando os setores que possuem uma matriz energética mais dependente de fontes fósseis de energia, sendo que a sua distância até a fronteira calculada pela DEA seria maior do que a real.

Como o viés penaliza principalmente os setores que possuem uma matriz energética dependente de energéticos fósseis, considerou-se que, diante da alternativa de se retirar uma das variáveis, tal viés não comprometeria muito os resultados da análise. Para confirmar esse fato foram realizadas simulações em que cada uma das variáveis de *input* foi retirada da análise da DEA. O *ranking* dos setores, bem como seu desempenho médio, em cada uma dessas simulações se encontra na Tabela 39:

Tabela 39 – Simulações das variáveis de *input*

Setor	Ranking - Geral	Com as 2 variáveis de input: emissões de CO₂ por combustíveis fósseis + consumo energético	Ranking- CO₂ como input	Apenas variável: emissões de CO₂ por combustíveis fósseis	Ranking- consumo energia como input	Apenas variável: consumo energético
Têxtil	1	94,49%	1	85,81%	1	96,59%
Alimentos e Bebidas	2	91,85%	2	82,67%	2	91,33%
Química	3	80,21%	3	25,00%	3	89,04%
Extrativa Mineral	4	38,89%	7	8,48%	5	47,90%
Papel e Celulose	5	15,37%	4	17,34%	6	35,36%
Não Metálicos	6	11,22%	5	16,55%	4	51,29%
Metalurgia	7	8,41%	6	12,63%	7	22,08%
Média Geral		48,63%		35,50%		61,94%

Quando se retirou a variável "consumo energético" houve uma grande piora no desempenho médio geral das DMUs, o que prova que essa variável é significativa para a análise, visto que traz uma carga de informações que a outra variável não é capaz de considerar. Além disso, como é possível observar na Tabela 39, houve alteração de posição no *ranking* de desempenho entre o setor de Papel e Celulose, o Extrativo Mineral, o Não Metálico e o Metalúrgico. Essa alteração demonstra que a DEA beneficiou o setor de Papel e Celulose que, apesar de possuir uma matriz relativamente limpa, é um dos maiores consumidores de energia no Brasil, e, desta forma, precisa de medidas de eficiência energética, já que as fontes renováveis, também, provocam alguns impactos ambientais e sociais, durante a sua geração. Da mesma forma, o setor de não metálicos e o metalúrgico, também foram beneficiados, apesar do elevado consumo de energia. Já o setor extrativo mineral consome pouca quantidade de energéticos, sendo que no último ano da análise, foi o sexto, dos sete setores analisados, que mais consumiu energia. No entanto, este aspecto não foi considerado como um fator positivo para a análise de seu desempenho médio, e a DEA prejudicou este setor.

Por outro lado, quando se retirou a variável "emissões de CO₂ por combustíveis fósseis", além do desempenho médio dos setores também ter se alterado (passando de 48,63% para 61,94%), houve algumas alterações de posições que beneficiou o setor de Não metálicos, que apresentam uma matriz energética mais dependente de fontes fósseis, passando da sexta posição (considerando as duas variáveis de *inputs*) para a quarta posição (considerando apenas a variável "consumo energético" como *input*). Por sua vez, o setor de Papel e celulose, que possui uma matriz energética relativamente mais limpa, diminuiu sua posição no *ranking*, devido ao seu elevado consumo energético. Da mesma forma, o setor Extrativo Mineral, também, diminuiu sua posição no *ranking* apesar de emitir menos CO₂ que o setor de não metálicos. Essas alterações de posições são uma prova de que também houve perda de informação importante quando a variável foi retirada.

Também foi cogitada a possibilidade de utilizar as variáveis "emissões de CO₂ por combustíveis fósseis" e "consumo de energia apenas de fontes renováveis", porém a matriz energética de muitos dos setores industriais brasileiros, ainda, é muito dependente de fontes fósseis de energia, o que significaria muitos *inputs* iguais à zero, o que prejudicaria a análise DEA.

Diante do que foi exposto, pode-se concluir que é mais vantajoso manter as duas variáveis de *input* do que excluir uma delas.

O mesmo procedimento também foi aplicado com relação às variáveis de *output* a fim de melhor visualizar a significância de cada uma delas para a análise. Como é possível observar pela Tabela 40, ao retirar cada uma das variáveis, os desempenhos médios gerais das DMUs se alteraram, o que mostra que as variáveis retiradas são significativas para a análise, trazendo informações importantes que não são supridas pelas demais variáveis. Além disso, também, houve alteração de posições no *ranking* ao se retirar o *output* "PIB setorial" e "pessoas ocupadas em cada setor", o que é mais um indício da importância destas variáveis neste estudo. Apesar do *ranking* não ter se alterado com a retirada da variável "gastos com pessoas", alguns setores chegaram a diminuir o seu desempenho médio em quase 10%, como é o caso do setor Químico e do Extrativo Mineral, evidenciando a importância desta variável para a análise.

Vale ressaltar, ainda, que este estudo buscou incorporar, na análise, os três pilares básicos do tripé da sustentabilidade, ou seja, o econômico, o social e o ambiental. Portanto, como já mencionado, apesar do desempenho médio ter alterado

apenas 0,5% e 3,13% nas análises sem as variáveis “gastos com pessoas” e “pessoas ocupadas”, respectivamente, as mesmas representam o pilar social do conceito de desenvolvimento sustentável. Logo, é importante que sejam consideradas na análise.

Tabela 40- Simulações das variáveis de *Output*

Setor	Ranking - Geral	Com as 3 variáveis de output	Ranking - sem variável pessoas ocupadas	Eficiência média- sem variável pessoas ocupadas	Ranking- sem variável PIB setorial	Eficiência média- sem variável PIB setorial	Ranking- sem variável gastos com pessoas	Eficiência média- sem variável gastos com pessoas
Têxtil	1	94,49%	1	93,63%	1	93,41%	1	96,18%
Alimentos e Bebidas	2	91,85%	2	90,34%	2	81,35%	2	94,93%
Química	3	80,21%	3	84,80%	3	57,26%	3	70,32%
Extrativa Mineral	4	38,89%	4	50,28%	6	14,67%	4	47,11%
Papel e Celulose	5	15,37%	5	19,59%	4	15,83%	5	15,40%
Não Metálicos	6	11,22%	7	11,13%	5	14,80%	6	11,02%
Metalurgia	7	8,41%	6	12,55%	7	4,81%	7	8,86%
Média Geral		48,63%		51,76%		40,30%		49,12%

APÊNDICE B – ANÁLISE DE JANELA DAS FOLGAS DA ANÁLISE DE DESEMPENHO

Tabela 41 – Análise de janela para as folgas relativas da variável Energia

JANELAS - FOLGA RELATIVA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	0%							
Alimentos e bebidas_1997	0%	0%						
Alimentos e bebidas_1998	8%	3%	0%					
Alimentos e bebidas_1999	0%	13%	0%	0%				
Alimentos e bebidas_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Alimentos e bebidas_2001	0%	5%	0%	0%	0%	0%		
Alimentos e bebidas_2002	6%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	
Alimentos e bebidas_2003	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	9%
Alimentos e bebidas_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%
Alimentos e bebidas_2005			0%	0%	0%	0%	0%	4%
Alimentos e bebidas_2006				0%	0%	0%	0%	8%
Alimentos e bebidas_2007					0%	6%	1%	10%
Alimentos e bebidas_2008						0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2009							0%	0%
Alimentos e bebidas_2010								0%
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	1,77%	4,79%	0,00%	0,00%	0,00%	0,69%	0,16%	4,81%
Extrativa mineral_1996	35%							
Extrativa mineral_1997	37%	37%						
Extrativa mineral_1998	40%	40%	33%					
Extrativa mineral_1999	45%	45%	39%	39%				
Extrativa mineral_2000	53%	53%	48%	48%	45%			
Extrativa mineral_2001	30%	16%	0%	0%	0%	0%		
Extrativa mineral_2002	35%	22%	3%	1%	0%	0%	0%	
Extrativa mineral_2003	26%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	10%
Extrativa mineral_2004		7%	0%	0%	0%	0%	0%	8%
Extrativa mineral_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2007					0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2008						0%	0%	0%
Extrativa mineral_2009							0%	0%
Extrativa mineral_2010								0%
EXTRATIVA MINERAL.média	38%	29%	15%	11%	6%	0%	0%	2%
Metalurgia _1996	77%							
Metalurgia _1997	49%	45%						
Metalurgia _1998	56%	52%	7%					
Metalurgia _1999	54%	50%	12%	0%				
Metalurgia _2000	87%	87%	84%	84%	68%			
Metalurgia _2001	85%	85%	83%	83%	67%	66%		

Metalurgia _2002	83%	84%	83%	82%	69%	69%	65%	
Metalurgia _2003	80%	82%	81%	81%	70%	69%	66%	89%
Metalurgia _2004		77%	78%	77%	67%	66%	63%	74%
Metalurgia _2005			77%	77%	68%	67%	63%	75%
Metalurgia _2006				75%	68%	67%	64%	75%
Metalurgia _2007					68%	67%	63%	74%
Metalurgia _2008						65%	61%	72%
Metalurgia _2009							63%	85%
Metalurgia _2010								57%
METALURGIA .média	71%	70%	63%	70%	68%	67%	63%	75%
Não metálicos _1996	77%							
Não metálicos _1997	71%	65%						
Não metálicos _1998	74%	69%	61%					
Não metálicos _1999	80%	77%	72%	72%				
Não metálicos _2000	80%	82%	82%	82%	82%			
Não metálicos _2001	82%	82%	82%	82%	83%	81%		
Não metálicos _2002	80%	81%	81%	81%	82%	80%	81%	
Não metálicos _2003	70%	80%	80%	80%	81%	80%	81%	80%
Não metálicos _2004		68%	75%	79%	79%	79%	80%	79%
Não metálicos _2005			70%	75%	80%	81%	81%	81%
Não metálicos _2006				65%	71%	75%	76%	77%
Não metálicos _2007					64%	70%	74%	75%
Não metálicos _2008						59%	63%	64%
Não metálicos _2009							61%	64%
Não metálicos _2010								58%
NÃO METÁLICOS .média	77%	75%	75%	77%	78%	76%	75%	72%
Papel e celulose_1996	75%							
Papel e celulose_1997	78%	77%						
Papel e celulose_1998	80%	81%	81%					
Papel e celulose_1999	75%	50%	12%	2%				
Papel e celulose_2000	83%	83%	83%	83%	83%			
Papel e celulose_2001	82%	82%	82%	82%	82%	80%		
Papel e celulose_2002	84%	84%	84%	84%	84%	82%	83%	
Papel e celulose_2003	82%	84%	84%	84%	84%	83%	84%	83%
Papel e celulose_2004		82%	84%	84%	84%	83%	84%	83%
Papel e celulose_2005			83%	84%	84%	84%	85%	84%
Papel e celulose_2006				82%	85%	85%	86%	85%
Papel e celulose_2007					82%	85%	87%	86%
Papel e celulose_2008						80%	84%	86%
Papel e celulose_2009							80%	85%
Papel e celulose_2010								84%
PAPEL E CELULOSE.média	80%	78%	74%	73%	83%	83%	84%	85%
Química_1996	0%							
Química_1997	0%	0%						
Química_1998	0%	0%	0%					

Química_1999	0%	0%	0%	0%				
Química_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Química_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Química_2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Química_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Química_2007					0%	0%	0%	0%
Química_2008						0%	0%	0%
Química_2009							0%	0%
Química_2010								0%
QUÍMICA.média	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_1996	0%							
Têxtil_1997	0%	0%						
Têxtil_1998	0%	0%	0%					
Têxtil_1999	0%	0%	0%	0%				
Têxtil_2000	5%	0%	0%	0%	0%			
Têxtil_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Têxtil_2002	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Têxtil_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_2004		0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%
Têxtil_2005			0%	1%	1%	0%	5%	0%
Têxtil_2006				0%	0%	0%	4%	0%
Têxtil_2007					0%	0%	0%	0%
Têxtil_2008						0%	0%	0%
Têxtil_2009							0%	0%
Têxtil_2010								0%
TÊXTIL.média	1%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%

Tabela 42 – Análise de janela para as folgas absolutas da variável Energia

JANELAS - FOLGA ABSOLUTA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	-							
Alimentos e bebidas_1997	-	-						
Alimentos e bebidas_1998	1.070,18	464,68	-					
Alimentos e bebidas_1999	-	1.856,59	-	-				
Alimentos e bebidas_2000	-	-	-	-	-			
Alimentos e bebidas_2001	-	719,83	-	-	-	-		
Alimentos e bebidas_2002	997,25	1.779,53	-	-	-	-	-	
Alimentos e bebidas_2003	-	985,13	-	-	-	-	-	1.500,18
Alimentos e bebidas_2004		(0,00)	-	-	-	-	-	1.240,11
Alimentos e bebidas_2005			-	-	-	-	-	720,44
Alimentos e bebidas_2006				-	-	-	-	1.605,48
Alimentos e bebidas_2007					-	1.180,55	267,02	2.181,40
Alimentos e bebidas_2008						0,00	-	30,05
Alimentos e bebidas_2009							-	-
Alimentos e bebidas_2010								-
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	258,43	725,72	-	-	-	147,57	33,38	909,71
Extrativa mineral_1996	589,78							
Extrativa mineral_1997	623,01	623,01						
Extrativa mineral_1998	719,02	719,02	596,89					
Extrativa mineral_1999	898,58	898,58	776,45	765,96				
Extrativa mineral_2000	1.232,04	1.232,04	1.109,91	1.099,42	1.037,29			
Extrativa mineral_2001	678,33	372,47	-	-	-	-		
Extrativa mineral_2002	820,93	516,58	66,35	32,65	-	-	-	
Extrativa mineral_2003	659,49	346,92	-	-	-	-	-	260,63
Extrativa mineral_2004		195,65	-	-	-	-	-	214,02
Extrativa mineral_2005			-	-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2006				-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2007					-	-	-	-
Extrativa mineral_2008						-	-	-
Extrativa mineral_2009							-	-

Extrativa mineral_2010									-
EXTRATIVA									
MINERAL.média	777,65	613,03	318,70	237,25	129,66	-	-	59,33	
Metalurgia _1996	14.692,43								
Metalurgia _1997	9.339,72	8.567,58							
Metalurgia _1998	10.599,10	9.685,19	1.398,24						
Metalurgia _1999	10.286,10	9.417,62	2.204,94	-					
Metalurgia _2000	18.111,53	18.044,37	17.578,12	17.514,03	14.094,29				
Metalurgia _2001	16.646,99	16.700,72	16.315,66	16.258,93	13.205,33	13.067,82			
Metalurgia _2002	17.783,76	17.993,37	17.674,61	17.619,79	14.828,22	14.686,22	13.937,84		
Metalurgia _2003	18.523,28	18.970,53	18.836,68	18.789,96	16.206,68	16.030,57	15.238,56	20.621,4	
Metalurgia _2004		19.215,48	19.241,28	19.213,32	16.714,52	16.449,54	15.543,84	18.371,9	
Metalurgia _2005			18.809,26	18.795,39	16.663,35	16.418,48	15.538,53	18.321,7	
Metalurgia _2006				18.159,76	16.586,77	16.352,66	15.486,47	18.245,6	
Metalurgia _2007					17.669,82	17.383,76	16.451,10	19.326,2	
Metalurgia _2008						16.822,36	15.837,60	18.803,6	
Metalurgia _2009							12.916,73	17.425,8	
Metalurgia _2010								13.726,7	
METALURGIA								4	
.média	14.497,86	14.824,36	14.007,35	15.793,90	15.746,12	15.901,43	15.118,83	18.105,3	
Não metálicos _1996	4.266,02								
Não metálicos _1997	4.263,79	3.952,91							
Não metálicos _1998	4.595,63	4.287,97	3.818,34						
Não metálicos _1999	4.989,85	4.824,56	4.525,93	4.506,15					
Não metálicos _2000	5.140,16	5.259,97	5.261,94	5.252,51	5.276,09				
Não metálicos _2001	5.209,14	5.222,75	5.228,13	5.228,13	5.259,80	5.162,45			
Não metálicos _2002	4.966,11	5.031,95	5.035,91	5.035,91	5.058,29	4.981,85	5.043,38		
Não metálicos _2003	4.176,52	4.722,24	4.760,28	4.771,17	4.792,84	4.726,95	4.788,48	4.722,41	
Não metálicos _2004		3.970,54	4.412,18	4.651,60	4.652,40	4.655,92	4.705,43	4.651,38	
Não metálicos _2005			4.340,34	4.669,61	4.978,58	5.034,83	5.062,55	5.030,28	
Não metálicos _2006				4.284,76	4.685,72	4.971,91	5.001,67	5.072,99	
Não metálicos _2007					4.647,86	5.071,21	5.328,11	5.390,39	
Não metálicos _2008						4.683,94	5.010,56	5.039,02	
Não metálicos _2009							4.760,21	4.988,40	
Não metálicos _2010								5.031,42	
NÃO METÁLICOS									
.média	4.700,90	4.659,11	4.672,88	4.799,98	4.918,95	4.911,13	4.962,55	4.990,79	

Papel e celulose_1996	3.845,52							
Papel e celulose_1997	4.005,81	3.965,81						
Papel e celulose_1998	4.503,81	4.526,42	4.568,52					
Papel e celulose_1999	4.505,40	2.993,07	701,77	112,23				
Papel e celulose_2000	5.125,94	5.125,94	5.125,94	5.125,94	5.125,94			
Papel e celulose_2001	5.080,47	5.080,47	5.080,47	5.080,47	5.080,47	4.953,08		
Papel e celulose_2002	5.506,05	5.506,05	5.506,05	5.506,05	5.506,05	5.378,66	5.440,18	
Papel e celulose_2003	5.811,59	6.002,95	6.002,95	6.002,95	6.002,95	5.912,78	5.974,30	5.908,23
Papel e celulose_2004		6.000,98	6.108,65	6.109,22	6.109,22	6.091,17	6.152,70	6.086,63
Papel e celulose_2005			6.389,14	6.479,82	6.479,82	6.476,01	6.537,54	6.471,47
Papel e celulose_2006				6.597,28	6.774,69	6.808,30	6.869,83	6.803,76
Papel e celulose_2007					7.055,32	7.311,33	7.408,63	7.342,56
Papel e celulose_2008						7.163,91	7.503,67	7.745,10
Papel e celulose_2009							7.557,36	8.073,69
Papel e celulose_2010								8.504,39
PAPEL E CELULOSE.média	4.798,07	4.900,21	4.935,43	5.126,75	6.016,81	6.261,90	6.680,53	7.116,98
Química_1996	-							
Química_1997	-	-						
Química_1998	-	-	-					
Química_1999	-	-	-	-				
Química_2000	-	-	-	-	-			
Química_2001	-	-	-	-	-	-		
Química_2002	-	-	-	-	-	-	-	
Química_2003	-	-	-	-	-	-	-	-
Química_2004		-	-	-	-	-	-	-
Química_2005			-	-	-	-	-	-
Química_2006				-	-	-	-	-
Química_2007					-	-	-	-
Química_2008						-	-	-
Química_2009							-	-
Química_2010								-
QUÍMICA.média	-	-	-	-	-	-	-	-
Têxtil_1996	(0,00)							
Têxtil_1997	0,00	0,00						
Têxtil_1998	-	-	-					
Têxtil_1999	(0,00)	-	-	-				
Têxtil_2000	51,94	-	-	-	-			
Têxtil_2001	-	-	-	-	-	-		
Têxtil_2002	39,81	-	-	-	-	-	-	-

Têxtil_2003	0,00	-	-	0,00	-	0,00	-	-
Têxtil_2004		-	(0,00)	-	0,00	-	39,63	-
Têxtil_2005			-	6,16	9,71	-	56,26	-
Têxtil_2006				0,00	(0,00)	5,23	52,36	0,68
Têxtil_2007					-	-	-	5,91
Têxtil_2008						0,00	(0,00)	-
Têxtil_2009							-	-
Têxtil_2010								-
TÊXTIL.média	11,47	0,00	(0,00)	0,77	1,21	0,65	18,53	0,82

Tabela 43 - Análise de janela para as folgas relativas da variável Emissão de CO₂ por fontes fósseis de energia

JANELAS - FOLGA RELATIVA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	0%							
Alimentos e bebidas_1997	0%	0%						
Alimentos e bebidas_1998	6%	6%	0%					
Alimentos e bebidas_1999	0%	4%	0%	0%				
Alimentos e bebidas_2000	0%	0%	31%	0%	0%			
Alimentos e bebidas_2001	6%	24%	26%	33%	0%	0%		
Alimentos e bebidas_2002	9%	19%	20%	27%	0%	0%	2%	
Alimentos e bebidas_2003	0%	9%	12%	21%	9%	9%	3%	30%
Alimentos e bebidas_2004		0%	5%	10%	0%	0%	0%	24%
Alimentos e bebidas_2005			0%	0%	0%	0%	0%	17%
Alimentos e bebidas_2006				0%	0%	0%	0%	5%
Alimentos e bebidas_2007					0%	1%	0%	11%
Alimentos e bebidas_2008						0%	0%	7%
Alimentos e bebidas_2009							0%	0%
Alimentos e bebidas_2010								0%
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	3%	8%	12%	11%	1%	1%	1%	12%
Extrativa mineral_1996	75%							
Extrativa mineral_1997	74%	74%						
Extrativa mineral_1998	75%	75%	72%					
Extrativa mineral_1999	79%	79%	77%	77%				
Extrativa mineral_2000	83%	83%	81%	81%	79%			
Extrativa mineral_2001	72%	74%	69%	64%	14%	21%		
Extrativa mineral_2002	73%	75%	75%	75%	17%	25%	47%	
Extrativa mineral_2003	72%	74%	64%	58%	8%	16%	42%	47%
Extrativa mineral_2004		75%	54%	47%	10%	17%	25%	46%
Extrativa mineral_2005			31%	19%	6%	13%	23%	41%
Extrativa mineral_2006				0%	0%	7%	19%	35%
Extrativa mineral_2007					0%	11%	21%	37%
Extrativa mineral_2008						0%	15%	28%
Extrativa mineral_2009							0%	0%
Extrativa mineral_2010								35%
EXTRATIVA MINERAL.média	75%	76%	65%	53%	17%	14%	24%	34%
Metalurgia_1996	94%							
Metalurgia_1997	91%	92%						
Metalurgia_1998	92%	93%	92%					
Metalurgia_1999	91%	92%	91%	92%				
Metalurgia_2000	96%	97%	96%	97%	96%			

Metalurgia _2001	96%	96%	96%	96%	96%	96%		
Metalurgia _2002	96%	97%	96%	96%	96%	96%	96%	
Metalurgia _2003	96%	97%	96%	96%	96%	96%	96%	93%
Metalurgia _2004		96%	96%	96%	96%	96%	96%	97%
Metalurgia _2005			96%	96%	96%	96%	96%	97%
Metalurgia _2006				96%	96%	96%	96%	97%
Metalurgia _2007					96%	96%	96%	97%
Metalurgia _2008						96%	96%	97%
Metalurgia _2009							96%	93%
Metalurgia _2010								96%
METALURGIA .média	94%	95%	95%	96%	96%	96%	96%	96%
Não metálicos _1996	85%							
Não metálicos _1997	86%	87%						
Não metálicos _1998	87%	88%	88%					
Não metálicos _1999	89%	90%	90%	90%				
Não metálicos _2000	90%	92%	92%	92%	92%			
Não metálicos _2001	91%	92%	92%	92%	93%	92%		
Não metálicos _2002	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	
Não metálicos _2003	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	92%
Não metálicos _2004		87%	87%	88%	87%	88%	89%	89%
Não metálicos _2005			90%	90%	90%	91%	91%	92%
Não metálicos _2006				90%	90%	91%	92%	92%
Não metálicos _2007					90%	92%	92%	93%
Não metálicos _2008						91%	92%	92%
Não metálicos _2009							92%	93%
Não metálicos _2010								93%
NÃO								
METÁLICOS.média	89%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%
Papel e celulose_1996	63%							
Papel e celulose_1997	63%	66%						
Papel e celulose_1998	67%	68%	70%					
Papel e celulose_1999	64%	63%	59%	61%				
Papel e celulose_2000	77%	77%	77%	77%	77%			
Papel e celulose_2001	75%	75%	75%	75%	75%	73%		
Papel e celulose_2002	77%	77%	77%	77%	77%	74%	76%	
Papel e celulose_2003	74%	74%	74%	74%	74%	72%	74%	75%
Papel e celulose_2004		71%	71%	71%	71%	70%	72%	74%
Papel e celulose_2005			70%	71%	71%	71%	73%	74%
Papel e celulose_2006				64%	63%	65%	68%	69%
Papel e celulose_2007					62%	67%	69%	70%
Papel e celulose_2008						65%	69%	71%
Papel e celulose_2009							69%	72%
Papel e celulose_2010								71%
PAPEL E								
CELULOSE.média	70%	71%	72%	71%	71%	70%	71%	72%
Química_1996	0%							
Química_1997	28%	20%						
Química_1998	0%	0%	0%					
Química_1999	26%	19%	14%	0%				
Química_2000	53%	60%	57%	57%	18%			
Química_2001	43%	53%	58%	59%	36%	47%		
Química_2002	33%	42%	44%	45%	14%	30%	50%	
Química_2003	0%	4%	13%	11%	0%	16%	32%	46%
Química_2004		0%	12%	13%	1%	20%	31%	49%

Química_2005			0%	1%	1%	19%	31%	48%
Química_2006				0%	5%	22%	31%	50%
Química_2007					0%	18%	25%	47%
Química_2008						0%	0%	34%
Química_2009							0%	8%
Química_2010								0%
QUÍMICA.média	23%	25%	25%	23%	9%	21%	25%	35%
Têxtil_1996	0%							
Têxtil_1997	0%	0%						
Têxtil_1998	6%	6%	0%					
Têxtil_1999	0%	0%	0%	0%				
Têxtil_2000	17%	15%	16%	14%	0%			
Têxtil_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Têxtil_2002	16%	15%	15%	14%	11%	13%	9%	
Têxtil_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_2004		0%	0%	0%	0%	0%	4%	8%
Têxtil_2005			0%	0%	0%	2%	9%	13%
Têxtil_2006				0%	0%	2%	9%	12%
Têxtil_2007					0%	0%	0%	19%
Têxtil_2008						0%	0%	11%
Têxtil_2009							0%	0%
Têxtil_2010								0%
TÊXTIL.média	5%	4%	4%	3%	1%	2%	4%	8%

Tabela 44 - Análise de janela para as folgas absolutas da variável Emissão de CO₂ por fontes fósseis de energia

JANELAS - FOLGA ABSOLUTA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	-							
Alimentos e bebidas_1997	-	-						
Alimentos e bebidas_1998	271,07	251,30	-					
Alimentos e bebidas_1999	-	186,52	-	-				
Alimentos e bebidas_2000	-	-	1.361,63	-	-			
Alimentos e bebidas_2001	276,15	1.043,23	1.149,51	1.440,21	-	-		
Alimentos e bebidas_2002	376,77	803,67	838,68	1.161,76	-	-	64,61	
Alimentos e bebidas_2003	0,00	351,35	475,49	829,63	342,67	366,95	106,99	1.177,63
Alimentos e bebidas_2004		(0,00)	199,47	372,83	-	-	-	915,63
Alimentos e bebidas_2005			-	-	-	-	-	630,93
Alimentos e bebidas_2006				-	-	-	-	157,92
Alimentos e bebidas_2007					-	24,18	-	424,32
Alimentos e bebidas_2008						-	(0,00)	280,07
Alimentos e bebidas_2009							-	-
Alimentos e bebidas_2010								-
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	115,50	329,51	503,10	475,55	42,83	48,89	21,45	448,31
Extrativa mineral_1996	3.013,46							
Extrativa mineral_1997	2.890,80	2.890,80						
Extrativa mineral_1998	3.044,54	3.044,54	2.913,55					
Extrativa mineral_1999	3.880,32	3.880,32	3.749,33	3.753,57				
Extrativa mineral_2000	4.847,01	4.847,01	4.716,02	4.720,26	4.615,60			
Extrativa mineral_2001	4.133,21	4.246,67	3.947,88	3.691,87	796,65	1.214,10		
Extrativa mineral_2002	4.312,61	4.424,27	4.435,13	4.450,30	1.002,92	1.460,23	2.771,13	
Extrativa mineral_2003	4.253,09	4.374,56	3.805,93	3.468,91	501,39	977,48	2.480,83	2.771,82
Extrativa mineral_2004		4.970,66	3.599,67	3.076,20	656,92	1.155,67	1.637,23	3.035,78
Extrativa mineral_2005			2.308,86	1.418,59	423,97	949,84	1.684,22	3.057,15
Extrativa mineral_2006				0,00	0,00	519,37	1.488,30	2.697,11
Extrativa mineral_2007					0,00	962,69	1.861,85	3.255,60
Extrativa mineral_2008						0,00	1.239,51	2.399,59
Extrativa							-	-

mineral_2009									
Extrativa									
mineral_2010									2.844,22
EXTRATIVA									
MINERAL.média	3.796,88	4.084,85	3.684,55	3.072,46	999,68	904,93	1.645,38	2.507,66	
Metalurgia _1996	41.304,38								
Metalurgia _1997	40.530,78	40.883,42							
Metalurgia _1998	41.114,94	41.397,91	40.919,05						
Metalurgia _1999	39.653,74	39.959,03	39.499,93	39.797,89					
Metalurgia _2000	46.496,66	46.625,99	46.600,51	46.626,17	46.269,33				
Metalurgia _2001	45.109,23	45.219,21	45.172,59	45.201,96	44.901,58	45.050,22			
Metalurgia _2002	48.460,24	48.559,76	48.485,49	48.520,73	48.279,15	48.427,74	48.414,97		
Metalurgia _2003	50.937,85	51.056,82	50.948,93	50.986,15	50.821,90	50.970,19	50.952,89	49.040,39	
Metalurgia _2004		52.580,71	52.508,22	52.531,86	52.389,52	52.537,01	52.507,91	52.963,87	
Metalurgia _2005			50.632,95	50.651,75	50.523,67	50.671,33	50.644,90	51.093,60	
Metalurgia _2006				49.334,00	49.228,63	49.376,39	49.351,39	49.796,20	
Metalurgia _2007					53.709,60	53.856,89	53.824,99	54.288,57	
Metalurgia _2008						53.616,11	53.578,80	54.057,09	
Metalurgia _2009							44.015,24	42.722,80	
Metalurgia _2010								52.322,50	
METALURGIA									
.média	44.200,98	45.785,36	46.845,96	47.956,31	49.515,42	50.563,23	50.411,39	50.785,63	
Não metálicos									
_1996	8.466,02								
Não metálicos									
_1997	9.981,61	10.101,06							
Não metálicos									
_1998	10.939,94	11.055,55	11.061,60						
Não metálicos									
_1999	11.612,96	11.704,34	11.734,21	11.742,70					
Não metálicos									
_2000	12.538,65	12.780,36	12.792,39	12.745,16	12.783,35				
Não metálicos									
_2001	13.049,11	13.135,60	13.168,40	13.168,40	13.222,84	13.150,58			
Não metálicos									
_2002	12.579,00	12.567,87	12.591,96	12.591,96	12.641,89	12.570,06	12.650,01		
Não metálicos									
_2003	10.991,05	11.040,38	10.988,56	10.993,07	11.046,59	11.011,73	11.091,68	11.134,77	
Não metálicos									
_2004		8.041,86	8.067,36	8.111,18	8.080,64	8.128,25	8.206,60	8.251,29	
Não metálicos									
_2005			10.770,68	10.838,60	10.789,82	10.900,08	10.975,51	11.023,12	
Não metálicos									
_2006				11.751,39	11.698,12	11.843,16	11.920,11	11.983,23	
Não metálicos									
_2007					13.277,70	13.433,51	13.542,22	13.605,52	
Não metálicos									
_2008						14.519,03	14.640,08	14.704,05	
Não metálicos									
_2009							15.286,16	15.376,42	
Não metálicos									
_2010								17.486,30	
NÃO METÁLICOS									
.média	11.269,79	11.303,38	11.396,89	11.492,81	11.692,62	11.944,55	12.289,05	12.945,59	
Papel e									
celulose_1996	2.591,04								
Papel e									
celulose_1997	2.402,17	2.503,16							
Papel e									
celulose_1998	2.528,36	2.586,87	2.664,91						
Papel e									
celulose_1999	2.754,85	2.720,10	2.548,80	2.621,08					

Papel e celulose_2000	3.350,13	3.350,13	3.350,13	3.350,13	3.350,13			
Papel e celulose_2001	3.098,46	3.098,46	3.098,46	3.098,46	3.098,46	2.990,51		
Papel e celulose_2002	3.304,71	3.304,71	3.304,71	3.304,71	3.304,71	3.196,76	3.276,71	
Papel e celulose_2003	2.957,37	2.974,36	2.974,36	2.974,36	2.974,36	2.892,80	2.972,75	3.015,84
Papel e celulose_2004		2.656,20	2.660,20	2.667,78	2.667,78	2.641,99	2.721,94	2.765,03
Papel e celulose_2005			2.676,19	2.711,75	2.711,75	2.713,23	2.793,19	2.836,27
Papel e celulose_2006				2.076,39	2.052,98	2.119,59	2.199,54	2.242,63
Papel e celulose_2007					2.096,56	2.240,59	2.325,42	2.368,51
Papel e celulose_2008						2.227,57	2.346,35	2.430,53
Papel e celulose_2009							2.526,91	2.648,82
Papel e celulose_2010								2.578,26
PAPEL E CELULOSE.média	2.873,39	2.899,25	2.909,72	2.850,58	2.782,09	2.627,88	2.645,35	2.610,74
Química_1996	(0,00)							
Química_1997	3.825,09	2.774,94						
Química_1998	(0,00)	0,00	0,00					
Química_1999	3.473,20	2.570,40	1.890,38	0,00				
Química_2000	7.305,38	8.337,83	7.933,53	7.927,24	2.529,65			
Química_2001	5.943,81	7.360,42	8.048,21	8.213,59	5.014,32	6.552,31		
Química_2002	4.716,05	5.896,08	6.155,33	6.286,88	1.968,43	4.199,40	7.102,62	
Química_2003	0,00	531,39	1.792,51	1.496,32	-	2.173,88	4.288,95	6.262,75
Química_2004		0,00	1.748,97	1.804,59	207,16	2.812,90	4.453,41	6.967,30
Química_2005			(0,00)	115,16	151,01	2.720,79	4.464,12	6.961,31
Química_2006				0,00	714,44	3.364,27	4.762,41	7.595,65
Química_2007					-	2.829,45	3.782,62	7.254,44
Química_2008						-	0,00	4.784,65
Química_2009							-	1.114,03
Química_2010								0,00
QUÍMICA.média	3.157,94	3.433,88	3.446,12	3.230,47	1.323,13	3.081,63	3.606,77	5.117,52
Têxtil_1996	(0,00)							
Têxtil_1997	-	-						
Têxtil_1998	72,70	72,70	0,00					
Têxtil_1999	-	-	-	-				
Têxtil_2000	211,09	187,81	198,93	174,06	-			
Têxtil_2001	-	0,00	0,00	0,00	-	-		
Têxtil_2002	199,95	185,83	185,83	167,50	130,89	153,96	111,39	
Têxtil_2003	-	-	-	-	0,00	-	-	-
Têxtil_2004		-	-	-	-	-	46,80	86,87
Têxtil_2005			-	3,79	-	27,50	102,99	144,96
Têxtil_2006				-	0,00	18,80	96,83	141,84
Têxtil_2007					-	-	-	239,18
Têxtil_2008						-	0,00	122,52
Têxtil_2009							-	-
Têxtil_2010								-
TÊXTIL.média	60,47	55,79	48,09	43,17	16,36	25,03	44,75	91,92

Tabela 45 - Análise de janela para as folgas relativas da variável PIB setorial

JANELAS - FOLGA RELATIVA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	0%							
Alimentos e bebidas_1997	0%	0%						
Alimentos e bebidas_1998	0%	0%	0%					
Alimentos e bebidas_1999	0%	0%	0%	0%				
Alimentos e bebidas_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Alimentos e bebidas_2001	29%	0%	0%	0%	0%	0%		
Alimentos e bebidas_2002	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Alimentos e bebidas_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
Alimentos e bebidas_2005			0%	0%	0%	0%	0%	4%
Alimentos e bebidas_2006				0%	0%	0%	0%	8%
Alimentos e bebidas_2007					0%	0%	0%	7%
Alimentos e bebidas_2008						0%	0%	11%
Alimentos e bebidas_2009							0%	0%
Alimentos e bebidas_2010								0%
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
Extrativa mineral_1996	36%							
Extrativa mineral_1997	36%	36%						
Extrativa mineral_1998	31%	31%	36%					
Extrativa mineral_1999	39%	39%	44%	39%				
Extrativa mineral_2000	8%	8%	12%	8%	14%			
Extrativa mineral_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Extrativa mineral_2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Extrativa mineral_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2007					0%	0%	0%	0%
Extrativa mineral_2008						0%	0%	0%
Extrativa mineral_2009							0%	0%
Extrativa mineral_2010								0%
EXTRATIVA MINERAL.média	19%	14%	12%	6%	2%	0%	0%	0%
Metalurgia_1996	0%							
Metalurgia_1997	0%	0%						
Metalurgia_1998	0%	0%	0%					
Metalurgia_1999	0%	0%	0%	0%				
Metalurgia_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Metalurgia_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Metalurgia_2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Metalurgia_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Metalurgia_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Metalurgia_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Metalurgia_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Metalurgia_2007					0%	0%	0%	0%
Metalurgia_2008						0%	0%	0%
Metalurgia_2009							0%	0%
Metalurgia_2010								0%
METALURGIA.média	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Não metálicos _1996	0%							
Não metálicos _1997	0%	0%						
Não metálicos _1998	0%	0%	0%					
Não metálicos _1999	0%	0%	0%	0%				
Não metálicos _2000	282%	184%	182%	178%	165%			
Não metálicos _2001	244%	211%	205%	205%	167%	191%		
Não metálicos _2002	202%	204%	199%	199%	173%	192%	180%	
Não metálicos _2003	204%	185%	196%	200%	175%	197%	184%	267%
Não metálicos _2004		189%	165%	145%	154%	168%	158%	232%
Não metálicos _2005			173%	148%	148%	157%	148%	218%
Não metálicos _2006				170%	165%	166%	155%	222%
Não metálicos _2007					169%	166%	147%	212%
Não metálicos _2008						183%	160%	227%
Não metálicos _2009							178%	241%
Não metálicos _2010								185%
NÃO METÁLICOS								
.média	117%	122%	140%	156%	165%	178%	164%	226%
Papel e celulose_1996	0%							
Papel e celulose_1997	0%	0%						
Papel e celulose_1998	0%	0%	0%					
Papel e celulose_1999	0%	0%	0%	0%				
Papel e celulose_2000	71%	71%	71%	71%	71%			
Papel e celulose_2001	58%	58%	58%	58%	58%	73%		
Papel e celulose_2002	60%	60%	60%	60%	60%	76%	69%	
Papel e celulose_2003	54%	51%	51%	51%	51%	63%	56%	101%
Papel e celulose_2004		40%	36%	36%	36%	43%	37%	77%
Papel e celulose_2005			28%	24%	24%	34%	28%	66%
Papel e celulose_2006				22%	21%	29%	24%	60%
Papel e celulose_2007					31%	31%	25%	62%
Papel e celulose_2008						42%	30%	61%
Papel e celulose_2009							49%	77%
Papel e celulose_2010								36%
PAPEL E								
CELULOSE.média	30%	35%	38%	40%	44%	49%	40%	67%
Química_1996	0%							
Química_1997	0%	0%						
Química_1998	0%	0%	0%					
Química_1999	0%	0%	0%	0%				
Química_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Química_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Química_2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Química_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Química_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Química_2007					0%	0%	0%	0%
Química_2008						0%	0%	0%
Química_2009							0%	22%
Química_2010								0%
QUÍMICA.média	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%
Têxtil_1996	0%							
Têxtil_1997	0%	0%						
Têxtil_1998	0%	0%	0%					
Têxtil_1999	0%	0%	0%	0%				

Têxtil_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Têxtil_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Têxtil_2002	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Têxtil_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_2004		0%	0%	0%	0%	0%	0%	22%
Têxtil_2005			0%	0%	0%	6%	2%	29%
Têxtil_2006				0%	0%	10%	6%	36%
Têxtil_2007					0%	0%	0%	29%
Têxtil_2008						0%	0%	23%
Têxtil_2009							0%	0%
Têxtil_2010								0%
TÊXTIL.média	0%	0%	0%	0%	0%	2%	1%	17%

Tabela 46 - Análise de janela para as folgas absolutas da variável PIB setorial

JANELAS - FOLGA ABSOLUTA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	-							
Alimentos e bebidas_1997	-	-						
Alimentos e bebidas_1998	-	-	-					
Alimentos e bebidas_1999	-	-	-	-				
Alimentos e bebidas_2000	-	-	-	-	-			
Alimentos e bebidas_2001	7.245,81	-	-	-	-	-		
Alimentos e bebidas_2002	2.442,18	-	-	-	-	-	-	
Alimentos e bebidas_2003	(0,00)	-	-	-	-	-	-	-
Alimentos e bebidas_2004		(0,00)	-	-	-	-	-	172,54
Alimentos e bebidas_2005			-	-	-	-	-	1.102,75
Alimentos e bebidas_2006				-	-	-	-	2.155,29
Alimentos e bebidas_2007					-	-	-	2.142,15
Alimentos e bebidas_2008						-	-	3.385,40
Alimentos e bebidas_2009							-	-
Alimentos e bebidas_2010								-
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	1.211,00	(0,00)	-	-	-	-	-	1.119,77
Extrativa mineral_1996	1.765,36							
Extrativa mineral_1997	1.765,36	1.765,36						
Extrativa mineral_1998	1.594,18	1.594,18	1.841,10					
Extrativa mineral_1999	1.867,10	1.867,10	2.114,03	1.867,06				
Extrativa mineral_2000	470,10	470,10	717,03	470,06	887,20			
Extrativa mineral_2001	-	-	-	-	-	-		
Extrativa mineral_2002	-	-	-	-	-	-	-	
Extrativa mineral_2003	-	-	-	-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2004		-	-	-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2005			-	-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2006				-	-	-	-	-
Extrativa mineral_2007					-	-	-	-
Extrativa mineral_2008						-	-	-
Extrativa mineral_2009							-	-
Extrativa mineral_2010								-
EXTRATIVA MINERAL.média	932,76	712,09	584,02	292,14	110,90	-	-	-
Metalurgia _1996	-							
Metalurgia _1997	-	-						
Metalurgia _1998	-	-	-					
Metalurgia _1999	-	-	-	-				
Metalurgia _2000	-	-	-	-	-			
Metalurgia _2001	-	-	-	-	-	-		
Metalurgia _2002	-	-	-	-	-	-	-	
Metalurgia _2003	-	-	-	-	-	-	-	-
Metalurgia _2004		-	-	-	-	-	-	-
Metalurgia _2005			-	-	-	-	-	-
Metalurgia _2006				-	-	-	-	-
Metalurgia _2007					-	-	-	-
Metalurgia _2008						-	-	-
Metalurgia _2009							-	-
Metalurgia _2010								-
METALURGIA .média	-	-	-	-	-	-	-	-

Não metálicos _1996	-							
Não metálicos _1997	-	-						
Não metálicos _1998	-	-	-					
Não metálicos _1999	-	-	-	-				
Não metálicos _2000	7.253,03	4.733,73	4.676,08	4.586,82	4.247,55			
Não metálicos _2001	6.151,42	5.312,17	5.155,04	5.155,04	4.208,88	4.803,24		
Não metálicos _2002	5.059,25	5.105,05	4.989,67	4.989,67	4.322,83	4.814,41	4.511,35	
Não metálicos _2003	5.042,11	4.572,58	4.842,14	4.925,07	4.325,15	4.852,13	4.549,07	6.597,78
Não metálicos _2004		5.161,11	4.488,14	3.944,97	4.213,89	4.592,21	4.301,67	6.337,86
Não metálicos _2005			4.925,90	4.222,94	4.207,59	4.472,99	4.205,13	6.218,64
Não metálicos _2006				4.994,16	4.854,67	4.880,72	4.567,36	6.534,88
Não metálicos _2007					5.335,90	5.238,09	4.639,45	6.667,52
Não metálicos _2008						6.213,00	5.436,16	7.690,96
Não metálicos _2009							5.736,48	7.768,75
Não metálicos _2010								7.795,63
NÃO METÁLICOS.média	2.938,23	3.110,58	3.634,62	4.102,33	4.464,56	4.983,35	4.743,33	6.951,50
Papel e celulose_1996	-							
Papel e celulose_1997	-	-						
Papel e celulose_1998	-	-	-					
Papel e celulose_1999	-	-	-	-				
Papel e celulose_2000	2.771,50	2.771,50	2.771,50	2.771,50	2.771,50			
Papel e celulose_2001	2.437,21	2.437,21	2.437,21	2.437,21	2.437,21	3.095,91		
Papel e celulose_2002	2.498,21	2.498,21	2.498,21	2.498,21	2.498,21	3.156,91	2.853,85	
Papel e celulose_2003	2.444,44	2.280,31	2.280,31	2.280,31	2.280,31	2.816,95	2.513,89	4.562,60
Papel e celulose_2004		2.032,26	1.866,21	1.843,51	1.843,51	2.205,25	1.902,20	3.950,91
Papel e celulose_2005			1.545,42	1.299,93	1.299,93	1.843,34	1.540,28	3.588,99
Papel e celulose_2006				1.227,46	1.184,39	1.652,57	1.349,52	3.398,22
Papel e celulose_2007					1.717,13	1.748,85	1.405,01	3.453,72
Papel e celulose_2008						2.347,92	1.697,42	3.425,91
Papel e celulose_2009							2.568,83	4.047,77
Papel e celulose_2010								2.521,68
PAPEL E								
CELULOSE.média	1.268,92	1.502,44	1.674,86	1.794,77	2.004,02	2.358,46	1.978,88	3.618,73
Química_1996	-							
Química_1997	-	-						
Química_1998	-	-	-					
Química_1999	-	-	-	-				
Química_2000	-	-	-	-	-			
Química_2001	-	-	-	-	-	-		
Química_2002	-	-	-	-	-	-	-	
Química_2003	-	-	-	-	-	-	-	-
Química_2004		-	-	-	-	-	-	-
Química_2005			-	-	-	-	-	-
Química_2006				-	-	-	-	-
Química_2007					-	-	-	-
Química_2008						-	-	-
Química_2009							-	5.261,17
Química_2010								-
QUÍMICA.média	-	-	-	-	-	-	-	657,65
Têxtil_1996	-							
Têxtil_1997	-	-						
Têxtil_1998	-	-	-					
Têxtil_1999	-	-	-	-				

Têxtil_2000	-	-	-	-	-			
Têxtil_2001	-	-	-	0,00	-	0,00		
Têxtil_2002	-	-	-	-	-	-	-	
Têxtil_2003	-	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
Têxtil_2004		-	-	0,00	-	0,00	9,65	1.576,54
Têxtil_2005			-	-	-	384,54	108,72	1.978,63
Têxtil_2006				-	-	658,74	370,68	2.404,40
Têxtil_2007					-	0,00	0,00	2.057,03
Têxtil_2008						-	-	1.662,84
Têxtil_2009							-	-
Têxtil_2010								-
TÊXTIL.média	-	0,00	0,00	0,00	-	130,41	61,13	1.209,93

Tabela 47 - Análise de janela para as folgas relativas da variável Número de pessoas ocupadas por setor

JANELAS - FOLGA RELATIVA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	0%							
Alimentos e bebidas_1997	0%	0%						
Alimentos e bebidas_1998	0%	5%	0%					
Alimentos e bebidas_1999	0%	1%	0%	0%				
Alimentos e bebidas_2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Alimentos e bebidas_2001	0%	0%	6%	1%	3%	2%		
Alimentos e bebidas_2002	0%	0%	12%	7%	0%	0%	12%	
Alimentos e bebidas_2003	0%	0%	8%	3%	7%	8%	9%	4%
Alimentos e bebidas_2004		0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2005			0%	0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2006				0%	0%	0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2007					0%	4%	8%	0%
Alimentos e bebidas_2008						0%	0%	0%
Alimentos e bebidas_2009							0%	0%
Alimentos e bebidas_2010								0%
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	0%	1%	4%	1%	1%	2%	4%	0%
Extrativa mineral_1996	220%							
Extrativa mineral_1997	244%	244%						
Extrativa mineral_1998	260%	260%	283%					
Extrativa mineral_1999	241%	241%	263%	269%				
Extrativa mineral_2000	234%	234%	255%	261%	276%			
Extrativa mineral_2001	272%	256%	267%	258%	135%	180%		
Extrativa mineral_2002	262%	246%	272%	269%	155%	200%	231%	
Extrativa mineral_2003	268%	252%	254%	243%	125%	173%	210%	265%
Extrativa mineral_2004		258%	229%	216%	100%	150%	188%	254%
Extrativa mineral_2005			176%	133%	45%	98%	152%	240%
Extrativa mineral_2006				0%	0%	53%	119%	198%
Extrativa mineral_2007					0%	51%	107%	191%
Extrativa mineral_2008						0%	71%	135%
Extrativa mineral_2009							0%	0%
Extrativa mineral_2010								130%
EXTRATIVA MINERAL.média	250%	249%	250%	206%	105%	113%	135%	177%
Metalurgia_1996	174%							
Metalurgia_1997	377%	377%						
Metalurgia_1998	333%	344%	667%					
Metalurgia_1999	358%	365%	643%	701%				
Metalurgia_2000	129%	115%	124%	122%	287%			
Metalurgia_2001	134%	121%	126%	123%	267%	277%		
Metalurgia_2002	154%	142%	142%	139%	271%	282%	317%	

Metalurgia _2003	170%	158%	152%	147%	263%	275%	310%	81%
Metalurgia _2004		179%	171%	166%	268%	284%	321%	225%
Metalurgia _2005			180%	175%	264%	279%	315%	220%
Metalurgia _2006				175%	237%	251%	284%	196%
Metalurgia _2007					230%	244%	278%	192%
Metalurgia _2008						244%	278%	193%
Metalurgia _2009							232%	76%
Metalurgia _2010								263%
METALURGIA .média	228%	225%	276%	219%	261%	267%	292%	181%
Não metálicos _1996	16%							
Não metálicos _1997	23%	18%						
Não metálicos _1998	19%	13%	22%					
Não metálicos _1999	6%	0%	5%	5%				
Não metálicos _2000	0%	0%	0%	0%	0%			
Não metálicos _2001	0%	0%	0%	0%	0%	7%		
Não metálicos _2002	0%	0%	0%	0%	0%	6%	5%	
Não metálicos _2003	10%	4%	0%	0%	1%	5%	4%	8%
Não metálicos _2004		12%	3%	0%	0%	1%	0%	3%
Não metálicos _2005			12%	6%	3%	0%	0%	2%
Não metálicos _2006				11%	6%	0%	0%	0%
Não metálicos _2007					11%	4%	0%	0%
Não metálicos _2008						4%	0%	0%
Não metálicos _2009							3%	0%
Não metálicos _2010								3%
NÃO METÁLICOS .média	9%	6%	5%	3%	3%	3%	2%	2%
Papel e celulose_1996	103%							
Papel e celulose_1997	109%	88%						
Papel e celulose_1998	118%	104%	97%					
Papel e celulose_1999	129%	200%	312%	332%				
Papel e celulose_2000	113%	113%	113%	113%	113%			
Papel e celulose_2001	103%	103%	103%	103%	103%	121%		
Papel e celulose_2002	88%	88%	88%	88%	88%	105%	103%	
Papel e celulose_2003	94%	90%	90%	90%	90%	102%	100%	106%
Papel e celulose_2004		95%	91%	91%	91%	95%	93%	99%
Papel e celulose_2005			94%	92%	92%	95%	93%	99%
Papel e celulose_2006				94%	90%	88%	86%	92%
Papel e celulose_2007					92%	80%	77%	83%
Papel e celulose_2008						80%	69%	64%
Papel e celulose_2009							89%	74%
Papel e celulose_2010								81%
PAPEL E CELULOSE.média	107%	110%	124%	126%	95%	96%	89%	87%
Química_1996	0%							
Química_1997	36%	18%						
Química_1998	0%	0%	0%					
Química_1999	37%	20%	13%	0%				
Química_2000	62%	67%	56%	51%	26%			
Química_2001	45%	58%	61%	59%	46%	60%		
Química_2002	44%	51%	47%	45%	26%	46%	45%	
Química_2003	0%	0%	9%	7%	0%	22%	22%	55%
Química_2004		0%	12%	12%	8%	29%	29%	62%
Química_2005			0%	2%	4%	28%	28%	61%
Química_2006				0%	8%	29%	29%	62%

Química_2007					0%	22%	22%	54%
Química_2008						0%	0%	34%
Química_2009							0%	8%
Química_2010								0%
QUÍMICA.média	28%	27%	25%	22%	15%	30%	22%	42%
Têxtil_1996	0%							
Têxtil_1997	0%	0%						
Têxtil_1998	2%	2%	0%					
Têxtil_1999	0%	0%	0%	0%				
Têxtil_2000	2%	6%	6%	5%	0%			
Têxtil_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Têxtil_2002	1%	4%	4%	4%	4%	5%	2%	
Têxtil_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_2004		0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%
Têxtil_2005			0%	0%	1%	2%	1%	4%
Têxtil_2006				0%	0%	1%	0%	3%
Têxtil_2007					0%	0%	0%	0%
Têxtil_2008						0%	0%	2%
Têxtil_2009							0%	0%
Têxtil_2010								0%
TÊXTIL.média	1%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%

mineral_2010								
EXTRATIVA								
MINERAL.média	212.550,50	213.075,54	217.621,53	181.679,63	91.903,04	104.808,47	132.702,29	188.779,85
Metalurgia_1996	308.691,22							
Metalurgia_1997	647.588,51	647.908,28						
Metalurgia_1998	556.884,66	574.723,44	1.116.422,51					
Metalurgia_1999	589.905,18	602.131,08	1.060.426,72	1.155.966,48				
Metalurgia_2000	217.379,46	194.036,41	209.803,10	205.847,99	483.717,11			
Metalurgia_2001	232.378,91	210.989,89	219.116,07	214.391,44	463.694,80	481.832,44		
Metalurgia_2002	265.492,87	245.220,63	245.312,64	239.484,24	468.185,02	486.776,95	547.621,01	
Metalurgia_2003	311.860,77	289.978,17	279.325,81	271.110,38	483.169,32	505.208,93	569.805,54	149.246,61
Metalurgia_2004		357.307,35	340.146,62	330.873,23	535.412,94	566.435,87	640.810,10	448.905,99
Metalurgia_2005			354.682,85	346.103,85	521.977,52	550.966,38	623.126,69	434.720,75
Metalurgia_2006				368.500,89	500.478,57	528.380,22	599.357,18	412.821,02
Metalurgia_2007					523.191,38	556.344,69	633.037,67	437.469,75
Metalurgia_2008						581.127,57	662.301,87	459.653,11
Metalurgia_2009							514.032,01	167.951,96
Metalurgia_2010								653.074,24
METALURGIA								
.média	391.272,70	390.286,91	478.154,54	391.534,81	497.478,33	532.134,13	598.761,51	395.480,43
Não metálicos								
_1996	40.686,88							
Não metálicos								
_1997	62.171,40	47.974,45						
Não metálicos								
_1998	50.246,17	36.152,59	59.331,69					
Não metálicos								
_1999	17.294,80	-	14.655,61	13.329,80				
Não metálicos								
_2000	-	-	-	-	-			
Não metálicos								
_2001	-	-	-	-	-	19.801,00		
Não metálicos								
_2002	-	-	-	-	-	16.314,00	13.382,00	
Não metálicos								
_2003	28.739,32	10.736,65	1.041,75	-	1.805,74	15.828,00	12.896,00	22.656,00
Não metálicos								
_2004		37.595,26	10.264,73	-	867,32	2.141,00	-	8.969,00
Não metálicos								
_2005			36.650,19	19.861,31	9.117,68	708,00	-	7.536,00
Não metálicos								
_2006				35.778,90	19.707,95	-	-	-
Não metálicos								
_2007					37.943,76	14.001,55	-	-
Não metálicos								
_2008						16.540,93	-	-
Não metálicos								
_2009							12.973,41	-
Não metálicos								
_2010								15.639,90
NÃO								
METÁLICOS								
.média	24.892,32	16.557,37	15.243,00	8.621,25	8.680,31	10.666,81	4.906,43	6.850,11
Papel e								
celulose_1996	149.483,82							
Papel e								
celulose_1997	149.748,20	121.304,80						
Papel e								
celulose_1998	154.763,58	135.999,75	127.698,18					
Papel e								
celulose_1999	173.795,69	268.649,61	419.678,71	446.685,08				
Papel e	150.680,00	150.680,00	150.680,00	150.680,00	150.680,00			

celulose_2000								
Papel e								
celulose_2001	144.234,00	144.234,00	144.234,00	144.234,00	144.234,00	169.553,00		
Papel e								
celulose_2002	133.036,00	133.036,00	133.036,00	133.036,00	133.036,00	158.355,00	155.423,00	
Papel e								
celulose_2003	143.630,07	137.314,89	137.314,89	137.314,89	137.314,89	156.057,00	153.125,00	162.885,00
Papel e								
celulose_2004		150.622,53	143.794,74	144.610,76	144.610,76	150.622,00	147.690,00	157.450,00
Papel e								
celulose_2005			148.697,70	146.707,54	146.707,54	150.256,00	147.324,00	157.084,00
Papel e								
celulose_2006				154.942,02	148.538,62	144.843,00	141.911,00	151.671,00
Papel e								
celulose_2007					159.585,79	138.348,26	133.130,00	142.890,00
Papel e								
celulose_2008						153.883,64	133.761,59	123.287,00
Papel e								
celulose_2009							168.765,11	139.773,95
Papel e								
celulose_2010								151.551,12
PAPEL E								
CELULOSE.média	149.921,42	155.230,20	175.641,78	182.276,29	145.588,45	152.739,74	147.641,21	148.324,01
Química_1996	(0,00)							
Química_1997	105.908,20	52.440,61						
Química_1998	(0,00)	(0,00)	0,00					
Química_1999	108.901,15	59.835,91	38.340,66	0,00				
Química_2000	192.476,89	208.356,94	172.902,90	158.336,82	81.621,11			
Química_2001	139.712,30	180.640,23	188.388,60	182.833,42	141.321,16	185.113,45		
Química_2002	134.440,93	156.614,01	144.320,37	136.072,79	77.780,46	139.849,24	138.135,49	
Química_2003	0,00	1.650,67	28.586,08	23.879,60	-	72.935,05	72.019,35	182.215,05
Química_2004		0,00	39.343,85	40.995,61	26.630,96	99.621,81	98.263,04	210.367,04
Química_2005			(0,00)	8.045,27	15.105,11	94.091,90	95.108,53	207.153,40
Química_2006				0,00	26.485,97	101.263,20	100.381,19	213.965,12
Química_2007					(0,00)	80.130,01	80.685,86	197.942,49
Química_2008						-	(0,00)	127.867,25
Química_2009							-	31.141,38
Química_2010								0,00
QUÍMICA.média	85.179,93	82.442,30	76.485,31	68.770,44	46.118,10	96.625,58	73.074,18	146.331,46
Têxtil_1996	(0,00)							
Têxtil_1997	0,00	0,00						
Têxtil_1998	5.364,99	5.364,99	0,00					
Têxtil_1999	(0,00)	-	-	-				
Têxtil_2000	5.522,81	15.840,54	15.851,99	14.557,75	0,00			
Têxtil_2001	-	-	-	-	0,00	0,00		
Têxtil_2002	3.625,88	11.538,27	11.538,27	10.584,56	12.213,08	13.274,27	6.296,78	
Têxtil_2003	(0,00)	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Têxtil_2004		-	-	-	0,00	-	3.744,00	7.062,03
Têxtil_2005			-	569,94	2.536,21	6.198,07	4.313,00	11.682,35
Têxtil_2006				(0,00)	0,00	1.985,00	-	8.813,00
Têxtil_2007					-	-	-	-
Têxtil_2008						(0,00)	0,00	5.720,83
Têxtil_2009							-	-
Têxtil_2010								-
TÊXTIL.média	1.814,21	4.092,97	3.423,78	3.214,03	1.843,66	2.682,17	1.794,22	4.159,78

Tabela 49 - Análise de janela para as folgas relativas da variável Gastos com pessoal

JANELAS - FOLGA RELATIVA								
DMU	janela 1	janela 2	janela 3	janela 4	janela 5	janela 6	janela 7	janela 8
Alimentos e bebidas_1996	0%							
Alimentos e bebidas_1997	0%	0%						
Alimentos e bebidas_1998	3%	12%	0%					
Alimentos e bebidas_1999	0%	1%	0%	0%				
Alimentos e bebidas_2000	0%	0%	35%	0%	0%			
Alimentos e bebidas_2001	6%	21%	41%	40%	34%	47%		
Alimentos e bebidas_2002	0%	7%	36%	35%	0%	0%	74%	
Alimentos e bebidas_2003	0%	5%	26%	26%	26%	27%	58%	78%
Alimentos e bebidas_2004		0%	12%	12%	0%	0%	0%	62%
Alimentos e bebidas_2005			0%	0%	0%	0%	0%	47%
Alimentos e bebidas_2006				0%	0%	0%	0%	35%
Alimentos e bebidas_2007					0%	11%	20%	28%
Alimentos e bebidas_2008						0%	0%	20%
Alimentos e bebidas_2009							0%	0%
Alimentos e bebidas_2010								0%
ALIMENTOS E BEBIDAS.média	1%	6%	19%	14%	8%	11%	19%	34%
Extrativa mineral_1996	142%							
Extrativa mineral_1997	165%	165%						
Extrativa mineral_1998	180%	180%	246%					
Extrativa mineral_1999	193%	193%	261%	287%				
Extrativa mineral_2000	165%	165%	228%	251%	284%			
Extrativa mineral_2001	94%	105%	114%	112%	161%	249%		
Extrativa mineral_2002	71%	81%	84%	83%	172%	261%	278%	
Extrativa mineral_2003	56%	65%	74%	73%	122%	200%	225%	365%
Extrativa mineral_2004		62%	74%	75%	99%	174%	293%	354%
Extrativa mineral_2005			81%	68%	50%	118%	257%	350%
Extrativa mineral_2006				0%	0%	54%	197%	276%
Extrativa mineral_2007					0%	67%	190%	269%
Extrativa mineral_2008						0%	129%	184%
Extrativa mineral_2009							0%	0%
Extrativa								75%

mineral_2010								
EXTRATIVA								
MINERAL.média	133%	127%	145%	119%	111%	141%	196%	234%
Metalurgia _1996	28%							
Metalurgia _1997	119%	143%						
Metalurgia _1998	90%	120%	432%					
Metalurgia _1999	103%	132%	399%	497%				
Metalurgia _2000	0%	0%	0%	0%	166%			
Metalurgia _2001	0%	0%	0%	0%	132%	179%		
Metalurgia _2002	0%	0%	0%	0%	105%	147%	199%	
Metalurgia _2003	0%	0%	0%	0%	79%	118%	165%	68%
Metalurgia _2004		0%	0%	0%	62%	101%	145%	101%
Metalurgia _2005			0%	0%	51%	87%	128%	87%
Metalurgia _2006				0%	36%	67%	103%	66%
Metalurgia _2007					26%	56%	90%	57%
Metalurgia _2008						41%	73%	42%
Metalurgia _2009							43%	0%
Metalurgia _2010								65%
METALURGIA								
.média	43%	49%	104%	62%	82%	99%	118%	61%
Não metálicos _1996	11%							
Não metálicos _1997	18%	25%						
Não metálicos _1998	7%	13%	15%					
Não metálicos _1999	0%	2%	0%	0%				
Não metálicos _2000	0%	27%	26%	40%	36%			
Não metálicos _2001	0%	14%	12%	12%	20%	68%		
Não metálicos _2002	0%	7%	5%	5%	8%	52%	60%	
Não metálicos _2003	0%	0%	0%	0%	0%	31%	38%	58%
Não metálicos _2004		0%	0%	1%	0%	15%	21%	39%
Não metálicos _2005			0%	0%	0%	5%	12%	27%
Não metálicos _2006				0%	0%	1%	8%	19%
Não metálicos _2007					0%	0%	3%	13%
Não metálicos _2008						0%	4%	14%
Não metálicos _2009							0%	6%
Não metálicos _2010								0%
NÃO METÁLICOS								
.média	4%	11%	7%	7%	8%	21%	18%	22%
Papel e celulose_1996	16%							
Papel e celulose_1997	16%	9%						
Papel e celulose_1998	32%	31%	9%					
Papel e celulose_1999	21%	113%	260%	307%				
Papel e celulose_2000	42%	42%	42%	42%	42%			
Papel e celulose_2001	27%	27%	27%	27%	27%	90%		
Papel e celulose_2002	12%	12%	12%	12%	12%	67%	76%	
Papel e celulose_2003	0%	0%	0%	0%	0%	43%	50%	72%
Papel e celulose_2004		0%	0%	0%	0%	29%	36%	56%
Papel e celulose_2005			0%	0%	0%	19%	25%	44%
Papel e celulose_2006				0%	0%	9%	14%	31%
Papel e celulose_2007					0%	0%	4%	20%
Papel e celulose_2008						0%	0%	6%
Papel e celulose_2009							0%	0%
Papel e celulose_2010								0%
PAPEL E								
CELULOSE.média	21%	29%	44%	48%	10%	32%	26%	29%
Química_1996	0%							
Química_1997	0%	0%						
Química_1998	0%	0%	0%					
Química_1999	0%	0%	0%	0%				

Química_2000	0%	0%	0%	0%	65%			
Química_2001	0%	0%	0%	0%	36%	51%		
Química_2002	0%	0%	0%	0%	46%	60%	24%	
Química_2003	0%	0%	0%	0%	0%	41%	19%	48%
Química_2004		0%	0%	0%	20%	31%	16%	37%
Química_2005			0%	0%	7%	19%	3%	25%
Química_2006				0%	1%	11%	0%	16%
Química_2007					0%	9%	1%	15%
Química_2008						0%	0%	3%
Química_2009							0%	0%
Química_2010								0%
QUÍMICA.média	0%	0%	0%	0%	22%	28%	8%	18%
Têxtil_1996	0%							
Têxtil_1997	0%	0%						
Têxtil_1998	5%	5%	0%					
Têxtil_1999	0%	0%	0%	0%				
Têxtil_2000	25%	36%	34%	40%	0%			
Têxtil_2001	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
Têxtil_2002	10%	16%	16%	20%	11%	25%	22%	
Têxtil_2003	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Têxtil_2004		0%	0%	0%	0%	0%	39%	45%
Têxtil_2005			0%	2%	2%	20%	28%	42%
Têxtil_2006				0%	0%	13%	20%	37%
Têxtil_2007					0%	0%	0%	26%
Têxtil_2008						0%	0%	19%
Têxtil_2009							0%	0%
Têxtil_2010								0%
TÊXTIL.média	5%	7%	6%	8%	2%	7%	14%	21%

mineral_2010								
EXTRATIVA								
MINERAL.média	1.389.523,60	1.363.393,81	1.620.993,05	1.355.601,57	1.371.740,81	2.047.875,33	3.499.708,15	4.708.353,00
Metalurgia _1996	742.088,90							
Metalurgia _1997	3.167.006,22	3.795.694,14						
Metalurgia _1998	2.428.063,61	3.242.479,81	11.649.825,41					
Metalurgia _1999	2.713.139,36	3.468.050,51	10.523.883,29	13.100.350,20				
Metalurgia _2000	-	-	-	-	4.774.003,60			
Metalurgia _2001	-	-	-	-	4.255.620,62	5.791.156,33		
Metalurgia _2002	-	-	-	-	3.845.797,12	5.398.560,22	7.319.289,22	
Metalurgia _2003	-	-	-	-	3.455.394,66	5.138.901,07	7.177.204,09	2.968.001,47
Metalurgia _2004		-	-	-	3.297.162,62	5.321.334,32	7.665.988,67	5.354.092,24
Metalurgia _2005			-	-	2.857.530,14	4.804.565,84	7.079.853,81	4.807.467,81
Metalurgia _2006				-	2.180.864,59	4.086.671,02	6.324.882,59	4.073.614,95
Metalurgia _2007					1.785.969,86	3.890.929,89	6.308.235,06	3.954.957,41
Metalurgia _2008						3.302.754,34	5.860.467,36	3.427.214,74
Metalurgia _2009							3.310.672,17	-
Metalurgia _2010								5.912.316,70
METALURGIA								
.média	1.131.287,26	1.313.278,06	2.771.713,59	1.637.543,77	3.306.542,90	4.716.859,13	6.380.824,12	3.812.208,17
Não metálicos								
_1996	197.490,53							
Não metálicos								
_1997	332.819,58	468.789,08						
Não metálicos								
_1998	140.497,24	273.560,04	311.996,02					
Não metálicos								
_1999	-	51.790,76	-	-				
Não metálicos								
_2000	-	626.484,35	606.882,26	911.215,75	839.176,39			
Não metálicos								
_2001	-	345.132,20	291.699,71	291.699,71	470.423,04	1.619.283,00		
Não metálicos								
_2002	-	173.191,28	133.954,53	133.954,53	207.960,43	1.366.961,00	1.576.492,00	
Não metálicos								
_2003	-	-	-	-	-	954.872,00	1.164.403,00	1.783.866,00
Não metálicos								
_2004		-	-	36.068,47	-	526.912,00	749.370,86	1.355.906,00
Não metálicos								
_2005			-	-	-	201.849,00	447.728,38	1.030.843,00
Não metálicos								
_2006				-	-	31.067,09	342.219,62	825.543,69
Não metálicos								
_2007					-	-	142.653,49	645.299,41
Não metálicos								
_2008						-	231.857,53	806.840,03
Não metálicos								
_2009							-	357.454,28
Não metálicos								
_2010								-
NÃO								
METÁLICOS								
.média	83.850,92	242.368,46	168.066,57	171.617,31	189.694,98	587.618,01	581.840,61	850.719,05
Papel e								
celulose_1996	267.751,79							
Papel e								
celulose_1997	272.978,18	166.488,23						
Papel e								
celulose_1998	543.215,52	526.693,17	158.600,79					
Papel e								
celulose_1999	356.686,28	1.967.473,47	4.516.890,48	5.333.120,34				
Papel e								
celulose_2000	796.266,00	796.266,00	796.266,00	796.266,00	796.266,00			

Papel e celulose_2001	566.492,00	566.492,00	566.492,00	566.492,00	566.492,00	1.900.587,00		
Papel e celulose_2002	276.900,00	276.900,00	276.900,00	276.900,00	276.900,00	1.610.995,00	1.820.526,00	
Papel e celulose_2003	-	-	-	-	-	1.206.213,00	1.415.744,00	2.035.207,00
Papel e celulose_2004		-	-	-	-	901.127,00	1.110.658,00	1.730.121,00
Papel e celulose_2005			-	-	-	640.048,00	849.579,00	1.469.042,00
Papel e celulose_2006				-	-	318.552,00	528.083,00	1.147.546,00
Papel e celulose_2007					-	-	176.528,00	795.991,00
Papel e celulose_2008						-	-	288.755,00
Papel e celulose_2009							-	-
Papel e celulose_2010								-
PAPEL E								
CELULOSE.média	385.036,22	537.539,11	789.393,66	871.597,29	204.957,25	822.190,25	737.639,75	933.332,75
Química_1996	-							
Química_1997	-	-						
Química_1998	-	-	0,00					
Química_1999	-	-	-	-				
Química_2000	-	-	-	-	4.088.335,92			
Química_2001	-	-	-	-	2.518.470,31	3.622.483,37		
Química_2002	-	-	-	-	3.410.505,74	4.425.677,39	1.762.643,87	
Química_2003	-	-	-	-	0,00	3.588.088,45	1.614.099,49	4.148.790,36
Química_2004		-	-	-	1.950.246,40	3.013.839,55	1.548.818,48	3.660.595,80
Química_2005			-	-	791.150,34	2.107.530,13	300.043,20	2.739.431,68
Química_2006				-	160.822,97	1.276.695,34	-	1.947.385,87
Química_2007					-	1.150.036,47	161.784,42	1.819.159,99
Química_2008						-	-	482.740,15
Química_2009							-	-
Química_2010								0,00
QUÍMICA.média	-	-	0,00	-	1.614.941,46	2.398.043,84	673.423,68	1.849.762,98
Têxtil_1996	0,00							
Têxtil_1997	0,00	-						
Têxtil_1998	96.158,42	96.158,42	-					
Têxtil_1999	0,00	0,00	0,00	0,00				
Têxtil_2000	512.875,72	722.006,67	684.673,08	811.228,20	0,00			
Têxtil_2001	(0,00)	0,00	0,00	0,00	0,00	-		
Têxtil_2002	227.971,42	375.776,38	375.776,38	469.034,38	256.175,01	603.855,86	526.764,47	
Têxtil_2003	(0,00)	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Têxtil_2004		-	-	-	0,00	0,00	1.181.129,00	1.367.128,67
Têxtil_2005			-	72.557,05	50.771,22	651.333,68	916.029,00	1.374.631,20
Têxtil_2006				-	-	474.306,00	699.314,48	1.303.300,00
Têxtil_2007					-	-	-	1.025.520,37
Têxtil_2008						(0,00)	0,00	754.495,62
Têxtil_2009							-	-
Têxtil_2010								-
TÊXTIL.média	104.625,69	149.242,68	132.556,18	169.102,45	38.368,28	216.186,94	415.404,62	728.134,48