

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE
DIÓXIDO DE CARBONO GERADA PELO CONSUMO DE
ENERGIA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS BRASILEIROS.**

ELISSANDRA RUBIM DE CARVALHO

**MANAUS
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

ELISSANDRA RUBIM DE CARVALHO

**ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE
DIÓXIDO DE CARBONO GERADA PELO CONSUMO DE
ENERGIA EM SEGMENTOS INDUSTRIAIS BRASILEIROS.**

Dissertação de Mestrado, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração gestão ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Mariana Sarmanho de Oliveira Lima

**MANAUS
2016**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C331e Carvalho, Elissandra Rubim de
ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DE DIÓXIDO
DE CARBONO GERADA PELO CONSUMO DE ENERGIA EM
SEGMENTOS INDUSTRIAIS BRASILEIROS / Elissandra Rubim de
Carvalho. 2016
127 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Mariana Sarmanho de Oliveira Lima
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Mitigação. 2. Emissão. 3. Poluição. 4. Indústria Brasileira. I.
Lima, Mariana Sarmanho de Oliveira II. Universidade Federal do
Amazonas III. Título

ELISSANDRA RUBIM DE CARVALHO

ESTRATÉGIA PARA A REDUÇÃO DA EMISSÃO DO DIÓXIDO DE
CARBONO GERADA PELO CONSUMO DE ENERGIA EM
SEGMENTOS INDUSTRIAIS BRASILEIROS


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão da Produção.

Aprovada em 15 de dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. MARIANA SARMANHO DE OLIVEIRA LIMA, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. RAIMUNDO KENNEDY VIEIRA, Membro.
Universidade Federal do Amazonas



Profa. Dra. ELIZABETH FERREIRA CARTAXO, Membro.
Universidade Federal do Amazonas

DEDICO:

A Deus, à minha família e aos meus amigos

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas, às quais registro aqui minha homenagem:

A Deus, por não desistir de mim, por caminhar comigo em todos os momentos dessa jornada me garantindo a vitória até mesmo quando ela parecia mais distante.

Aos meus pais, Leonildes Alves e Judith Rubim, pelos incentivos em todos os momentos e por estarem sempre ao meu lado, confiando no meu potencial até mesmo quando eu não acreditava em mim.

Aos meus irmãos e minhas irmãs pelo incentivo e apoio para a realização dos meus sonhos ao longo da vida.

A minha família linda formada pelo meu amado Erasmo Pessoa pelo amor, carinho, companheirismo e ajuda nos momentos difíceis da concretização deste trabalho e aos meus filhos Miguel Neto, Yasmin Rubim e Heitor Rubim a quem me servem de inspiração.

A minha orientadora, professora Dra. Mariana Sarmanho de Oliveira Lima, pelas orientações prestadas, pelo apoio incondicional e pelo conhecimento transmitido durante esta caminhada.

Aos professores do programa de pós-graduação em engenharia de produção, pelo imenso apoio dado para a viabilização deste trabalho, pelas valiosas sugestões e orientações e por compartilharem seus conhecimentos comigo.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir.”

Cora Coralina

RESUMO

As mudanças climáticas globais têm sido motivo de grande preocupação para todos os governos e nações há muitos anos. Muitos cientistas apontam o incremento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) como responsável por essas mudanças climáticas. Diante desta problemática, este trabalho propõe apresentar estratégias para a mitigação dos impactos relacionados com a poluição da indústria brasileira. As estratégias aqui apresentadas estão focadas em propostas para substituição de combustíveis fósseis, intensivos em carbono, por fontes renováveis. Para isso, buscou-se uma análise da estrutura de consumo de energia e do balanço de emissão de CO₂ de todo setor industrial brasileiro, identificando os segmentos industriais com maior potencial para redução de emissão e, assim, identificar medidas de mitigação eficazes. O método de pesquisa utiliza, também, a metodologia top-down do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para mensurar a emissão atual de CO₂ e prever a emissão futura desse poluente com a substituição de energéticos. Como conclusão, destacou-se a importância de se trabalhar com medidas de mitigação no setor industrial de ferro-gusa e aço, devido ao alto consumo de combustíveis fósseis, fontes de energia não-renováveis que contribuem com alta concentração de CO₂ na atmosfera.

Palavras-chave: Mitigação. Emissão. Poluição. Indústria Brasileira.

ABSTRACT

Global climate changes have been of great concern to all governments and nations for many years. Many scientists point to the increase in concentrations of greenhouse gases (GHG) as responsible for these climate changes. Faced with this problem, this paper proposes to present strategies for the mitigation of impacts related to the pollution of the Brazilian industry. The strategies presented here they are focused on proposals to replace fossil fuels, carbon intensive, for renewable sources. For this, we sought an analysis of the energy consumption structure and the issue of balance of CO₂ every Brazilian industrial sector, identifying the industries with the greatest potential to reduce emissions and thus identify effective mitigation measures. The research method also uses the top-down methodology of the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) to measure the current CO₂ emissions and predict future emissions of this pollutant by replacing energy. In conclusion, he emphasized the importance of working with mitigation measures in the industrial sector of Pig iron and steel, due to the high consumption of fossil fuels, non-renewable energy sources that contribute to high concentration of CO₂ in the atmosphere.

Key-Words: Mitigation. Issue. Pollution. Brazilian industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Níveis de cooperação para o desenvolvimento sustentável.....	28
Figura 2: Classificação da pesquisa	34
Figura 3: Múltiplas possibilidades de substituição de energia nos diversos consumidores de energia do.....	35
Figura 4: Evolução da Participação setorial no consumo de Energia até 2050.....	46
Figura 5: Consumo final de Energia por fonte no Brasil, entre 1970 a 2014	48
Figura 6: Consumo final energético, por segmento da indústria até 2050 (milhões de tep).....	50
Figura 7: Consumo final energético no segmento de cimento, por fonte (milhões de tep)	54
Figura 8: Consumo final energético no segmento de cimento, por fonte (%)	54
Figura 9: Consumo final energético no segmento de ferro-gusa e aço, por fonte (milhões de tep).....	57
Figura 10: Consumo final energético no segmento de ferro-gusa e aço, por fonte (%).....	57
Figura 11: Consumo final energético no segmento de ferroligas, por fonte (milhões de tep)	59
Figura 12: Consumo final energético no segmento de ferroligas, por fonte (%).....	59
Figura 13: Consumo final energético no segmento de mineração e pelletização, por fonte (milhões de tep)	61
Figura 14: Consumo final energético no segmento de mineração e pelletização, por fonte (%).....	61
Figura 15: Consumo final energético no segmento químico, por fonte (milhões de tep).....	63
Figura 16: Consumo final energético no segmento químico, por fonte (%).....	63
Figura 17: Consumo final energético no segmento não ferrosos e outros da metalurgia, por fonte (milhões de tep).....	65
Figura 18: Consumo final energético no segmento não ferrosos e outros da metalurgia, por fonte (%)	65
Figura 19: Consumo final energético no segmento Têxtil, por fonte (milhões de tep).....	67
Figura 20: Consumo final energético no segmento Têxtil, por fonte (%)	67
Figura 21: Consumo final energético no segmento de alimentos e bebidas, por fonte (milhões de tep)	69
Figura 22: Consumo final energético no segmento de alimentos e bebidas, por fonte (%).....	69
Figura 23: Consumo final energético no segmento de papel e celulose, por fonte (milhões de tep)...	71
Figura 24: Consumo final energético no segmento de papel e celulose, por fonte (%).....	71
Figura 25: Consumo final energético no segmento de cerâmica, por fonte (milhões de tep)	73
Figura 26: Consumo final energético no segmento de cerâmica, por fonte (%).....	73
Figura 27: Consumo final energético no segmento de outras indústrias, por fonte (milhões de tep) .	75
Figura 28: Consumo final energético no segmento de outras indústrias, por fonte (%).....	75
Figura 29: Comparação do uso de fontes renováveis entre o Brasil e o Mundo (%).....	80
Figura 30: Evolução das emissões de CO ₂ no Brasil de 2000 a 2020.....	81
Figura 31: Contribuição das medidas de mitigação no abatimento das emissões de CO ₂ em cada segmento industrial: acumulado entre 2010-2030.....	96
Figura 32: Percentagem por segmento industrial de contribuição das medidas para abatimento de CO ₂ acumulado entre 2010 e 2030.....	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo Final de Energia por setor no Brasil em 2014	44
Gráfico 2: Evolução do Consumo de Energia por setores no Brasil entre 2005 e 2014	45
Gráfico 3: Consumo final de Energia por fonte no Brasil em 2014.....	46
Gráfico 4: Percentual de consumo de energia por segmento de indústria no Brasil	49
Gráfico 5: Consumo final de energia por fonte na indústria Brasileira em 2014.....	51
Gráfico 6: Participação dos Renováveis na Matriz Energética Industrial nos últimos quatro anos.....	51
Gráfico 7: Consumo de energia por fonte na indústria de Cimento em 2014	53
Gráfico 8: Consumo de energia por fonte na indústria de Ferro-Gusa e Aço em 2014	56
Gráfico 9: Consumo de energia por fonte na indústria de Ferroligas em 2014.....	58
Gráfico 10: Consumo de energia por fonte na indústria de Mineração e Pelotização em 2014.....	60
Gráfico 11: Consumo de energia por fonte na indústria Química em 2014.....	62
Gráfico 12: Consumo de energia por fonte na indústria de Não Ferrosos e outros da Metalurgia em 2014.....	64
Gráfico 13: Consumo de energia por fonte na indústria Têxtil em 2014	66
Gráfico 14: Consumo de energia por fonte na indústria de Alimentos e Bebidas em 2014.....	68
Gráfico 15: Consumo de energia por fonte na indústria de Papel e Celulose em 2014	70
Gráfico 16: Consumo de energia por fonte na indústria de Cerâmica em 2014.....	72
Gráfico 17: Consumo de energia por fonte em outras indústrias em 2014	74
Gráfico 18: Participação dos renováveis na Matriz Energética no Brasil entre 2010 e 2014	80
Gráfico 19: Percentual de emissão de CO ₂ por setor no Brasil.....	82
Gráfico 20: Percentual de emissão de CO ₂ em cada segmento do setor industrial Brasileiro	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO ₂ a partir do consumo de determinado energético	41
Quadro 2: Tipos de Medidas de mitigação X Segmentos industriais	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Poder calorífico superior (PCS) dos energéticos.....	38
Tabela 2: Fator de emissão de C e de CO ₂ de cada energético	39
Tabela 3: Fração de carbono oxidada na combustão.....	40
Tabela 4: Consumo final de Energia por fonte no Brasil de 2005 a 2014.....	47
Tabela 5: Quantificação de Emissão de CO ₂ no setor industrial em 2014.....	84
Tabela 6: Emissões em CO ₂ eq por setor, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2011 e 2012	102
Tabela 7: Consumo final de energéticos no segmento de Alimentos e Bebidas 2005 a 2014 (%)	105
Tabela 8: Consumo final de energéticos no segmento de ferro-gusa e aço 2005 a 2014 (%).....	107
Tabela 9: Consumo final de energéticos no segmento de papel e celulose 2005 a 2014 (%)	109
Tabela 10: Quantificação de emissão de CO ₂ no setor industrial brasileiro de Ferro-gusa e Aço.....	112
Tabela 11: Quantificação de emissão de CO ₂ com a substituição dos energéticos no setor industrial de Ferro-gusa e Aço no Brasil no ano de 2014	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR4	Quarto Relatório de Avaliação do IPCC
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
C	Carbono
CFE	Consumo Final de Energia
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
COOPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós graduação e Pesquisa de Engenharia
CNI	Conferência Nacional das Indústrias
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
ECO 92	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FCCC	Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas
FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Agência Internacional de Energia
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
N ₂ O	Óxido nitroso
NAMAS	Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OIE	Oferta Interna de Energia
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ONU	Organização das Nações Unidas
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PNE	Plano Nacional de Energia
PPE	Programa de Planejamento Energético
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PCS	Poder Calorífico Superior
RAN	Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	21
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	21
1.2 MUDANÇAS DO CLIMA X MITIGAÇÃO.....	23
1.3 CONTRIBUIÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	25
2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	27
2.1 CONCEITOS	27
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA	30
3 MÉTODO	34
4 CENÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA - EVOLUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ...	42
4.1 CONSUMO DE ENERGIA NO MUNDO	42
4.2 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL	43
4.3 CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO	48
4.3.1 Consumo final de energia por fonte em cada segmento da indústria brasileira	52
5 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO BRASIL E NO MUNDO E A CONTRIBUIÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO	77
5.1 PRINCIPAIS GASES DE EFEITO ESTUFA	77
5.2 CENÁRIO INTERNACIONAL E NACIONAL DE EMISSÕES DE GEE.....	78
5.3 EMISSÕES DE CO ₂ PELO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO E DE SEUS SEGMENTOS	83
6 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA	88
6.1 MEDIDAS.....	90
6.1.1 Eficiência energética	91
6.1.2 Reciclagem e economia de materiais	92
6.1.3 Substituição inter-energéticos (fósseis X fósseis)	93
6.1.4 Uso de Energia Renovável	93
6.1.5 Cogeração de energia	95
6.2 USO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO NOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS	96
6.3 POLÍTICAS PÚBLICAS E INCENTIVOS AO CONSUMO DE ENERGIA LIMPA NA INDÚSTRIA	99
7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	104
CONSIDERAÇÕES FINAIS	117

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm sido alvo de diversas discussões e pesquisas científicas e as previsões de alteração no clima em um futuro próximo chamam cada vez mais a atenção de estudiosos e de governantes, bem como de órgãos e instituições internacionais, que em conjunto, tentam propor medidas para amenizar e diminuir os impactos atuais e futuros.

Esse aumento da temperatura, fenômeno conhecido como aquecimento global, originado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEEs), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), provenientes das atividades industriais, agrícolas e de transportes, podem ter consequências sérias para o planeta e para sua população. Segundo a contribuição do GT3 do IPCC ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas - RAN (2014), se as emissões de gases continuarem aumentando de acordo com as tendências atuais, estima-se que a temperatura da superfície do planeta cresça de 2°C a 4,5°C no final deste século.

De acordo com estudo realizado por LA ROVERE *et al.* (2013) estima-se que, caso o Brasil consiga atingir as metas voluntárias de redução de emissões com as quais se comprometeu com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, sigla em inglês) até 2020 – por meio da redução do desmatamento – as emissões de GEE relativas ao setor de energia irão assumir essa liderança, o que fará com que este setor se torne o maior responsável por emissões no país. Segundo estimativas dos mesmos autores, o país terá de enfrentar após 2020, um desafio semelhante ao que os países desenvolvidos enfrentam hoje: desenvolvimento econômico com baixa emissão de GEE relacionados ao setor de energia. Se políticas e medidas adicionais de mitigação não forem implementadas, os autores afirmam que as emissões de GEE do país tenderão a crescer novamente no período entre 2020 e 2030.

Dentre os diferentes setores das atividades humanas que contribuem para as emissões de GEE, os setores de energia e industrial são os mais significativos. O valor das emissões globais atuais dos setores de energia e industrial em 2008 atingiram as maiores contribuições para o aquecimento global ao longo de uma escala de tempo de 100 anos, segundo Grupo de Trabalho I do IPCC (MYHRE *et al.*, 2013).

O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – Fundo Clima (instituído pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010) é um dos instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima que merece atenção do setor produtivo. Ele tem como

objetivo assegurar recursos para apoio a projetos e estudos com financiamento de empreendimentos que visam à mitigação e à adaptação da mudança do clima e aos seus efeitos. O Fundo Clima é uma iniciativa no Plano Plurianual 2012 – 2015, com orçamento estimado em R\$ 389 milhões (trezentos e oitenta e nove milhões de reais) para 2012.

As questões ambientais são fortemente discutidas nas Conferências das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), a primeira delas realizada em junho de 1992, no Rio de Janeiro, ficando conhecida como Rio 92, Eco 92 ou Cúpula da Terra, onde marcou a forma como a humanidade encara sua relação com o planeta, e a admissão da comunidade política internacional na conciliação do desenvolvimento socioeconômico com a utilização dos recursos da natureza.

Na indústria brasileira, essa preocupação com o meio ambiente e um desenvolvimento sustentável aconteceu ainda na década 80, ganhando força e notoriedade no cenário dos negócios. As empresas perceberam que poderiam agregar valor com melhoria socioambiental, fomentando a relação com os “stakeholders” (partes interessadas), e então, o conceito de empresa de sucesso passou a coadunar com o de responsabilidade socioambiental corporativa.

A Confederação Nacional da Indústria – CNI, desde a Eco-92, tem buscado estimular o setor industrial a assumir a corresponsabilidade pela gestão sustentável dos recursos naturais, com inovação e eficiência nos processos, visando ao crescimento sustentado da economia sob a égide da justiça social e conservação do meio ambiente.

Vinte anos após a Eco 92, de 13 à 22 de junho de 2012, o Rio de Janeiro sediou a Rio+20, cujo objetivo foi discutir sobre a renovação dos compromissos políticos com o desenvolvimento sustentável, oferecendo oportunidade única para uma avaliação dos avanços registrados e dos desafios a serem enfrentados pela comunidade internacional e pelos diferentes países em seus esforços para conciliar desenvolvimento econômico e social com proteção ambiental.

A agenda do desenvolvimento sustentável apresenta inúmeras oportunidades para o Brasil, que tem uma indústria diversificada e sofisticada, além de um relevante parque tecnológico. Aproveitando o momento criado pela realização da Rio+20, a CNI apresentou uma agenda de iniciativas que pretende ser propositiva e mobilizadora das lideranças empresariais do país, tais como: disseminação de novas tecnologias, processos e melhores práticas; a identificação de metas e a construção de indicadores; investimentos na educação e na capacitação profissional; a articulação com atores domésticos e internacionais.

Os temas centrais abordados pela Conferência “Economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza” e “Estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável” – têm potencial para fomentar o desenvolvimento da indústria brasileira sustentado no tripé competitividade, inovação e responsabilidade ambiental e social.

Para a indústria brasileira, a transição para uma economia ambientalmente sustentável e socialmente inclusiva é compatível com os objetivos de crescimento econômico e de melhoria das condições de competitividade. É a presença de fatores que desestimulam os investimentos e inibem a inovação que pode colocar em oposição os esforços de sustentabilidade e a busca de maior competitividade da indústria (CNI, 2012).

O avanço da indústria brasileira nas questões em pauta na Rio+20 traduz o reconhecimento dos diferentes setores industriais de que a sustentabilidade vai se tornando um fator preponderante para o sucesso dos negócios. Não se trata de lidar com a sustentabilidade como discurso e manifestação de boas intenções, mas de tê-la presente no desenvolvimento dos planos de negócios das empresas e como variável-chave de suas estratégias de competitividade (CNI, 2012).

O século XXI traz esse comprometimento real com a sustentabilidade ambiental por parte do setor industrial, que começa a reprojeter seus processos. A indústria passa a tratar o tema não mais como custo, que onera o produto final, mas como investimento que cria um diferencial no mercado competitivo. Assim, a indústria vem procurando ao longo dos anos desenvolver tecnologias e medidas de controle e mitigação destas emissões, seja de forma voluntária, ou de forma obrigatória, através de leis e regulamentos (HENRIQUES JR., 2010).

O clima e as emissões são apontadas pela Confederação Nacional das Indústrias como de grande oportunidade para as indústrias brasileiras se encaminharem rumo a sustentabilidade, o que viabiliza a proposta deste trabalho.

As primeiras abordagens sobre mitigação de problemas ambientais foram propostas em caráter emergencial e apresentaram soluções pontuais e locais. Tratava-se de medidas para neutralizar o efeito indesejável das atividades humanas sem atuar em suas causas – medidas de fim-de-tubo. Progressivamente, o foco dessas intervenções, foi sendo modificado para outras formas de enfrentar o problema, buscando-se atacar suas causas (MANZINI; VEZZOLI, 2005, p.76).

O modo como o setor produtivo vem lidando com a poluição industrial acompanhou as discussões nacionais, internacionais e a ampliação do foco das intervenções. E diversas são as possibilidades de mitigação de GEEs, o que torna conveniente se categorizar os conjuntos de medidas quanto a seus respectivos potenciais de redução total de emissões. Para realizar esse

mapeamento, a abordagem parte da estimativa dos usos finais energéticos na indústria brasileira, identificando aqueles onde residem as maiores possibilidades de eficiência energética e de substituição de combustíveis (RAN, 2014).

A relevância do setor industrial brasileiro nas emissões nacionais de gases de efeito estufa pode ser compreendida, então, por seu porte tanto na economia quanto no consumo energético brasileiro. Segundo o Balanço Energético Nacional 2015, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o setor industrial foi o maior consumidor de energia, consumindo 87.502×10^3 tep/ano, equivalente a 32,9% do consumo total do país, e o segundo maior emissor de GEE, sendo responsável pela emissão de 36,1% do total emitido pelo Brasil.

Considerando todo impacto relacionado com as emissões de CO₂ (principal gás de efeito estufa), a exigência por um desenvolvimento econômico sustentável, o real comprometimento do Brasil e a posição do setor industrial brasileiro frente a essas problemáticas, o presente projeto tem o seguinte problema de pesquisa:

A partir da substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis na matriz energética da indústria brasileira, é possível reduzir o nível de emissão de dióxido de carbono?

Em face desta problemática a pesquisa apresentou a seguinte hipótese:

H₁: Se adotado a estratégia de mitigação de substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis na matriz energética da indústria brasileira, então o nível de emissões de dióxido de carbono poderá ser reduzido.

Além disso, tal medida pode amenizar a mudança do clima, em especial do aquecimento global, bem como, estimular o desenvolvimento sustentável do País e das indústrias brasileiras, além de colaborar com o compromisso voluntário assumido pelo Brasil perante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), com a promulgação de lei estipulando metas de redução de emissões de GEE para 2020.

Vale ressaltar que poderão ser adotadas outras alternativas de mitigação que venham a reduzir as emissões de dióxido de carbono, mas o foco deste trabalho serão as medidas de substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis.

Assim, considerando que: i) as emissões de CO₂ da indústria são relevantes no contexto das emissões nacionais de GEE e das mudanças climáticas globais; ii) elas vêm aumentando nas últimas décadas no Brasil e no setor industrial; e iii) existem tecnologias viáveis para mitigação e redução destas emissões.

Diante do problema de pesquisa e da hipótese apresentada, é possível formular o seguinte objetivo geral para o trabalho:

Propor estratégia para a redução da emissão de dióxido de carbono oriunda do consumo de energia na indústria brasileira.

Essa estratégia será baseada em substituição do uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis nos processos produtivos do setor industrial brasileiro. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os maiores consumidores de energéticos no Brasil e nos segmentos industriais;
- Analisar a estrutura de consumo de energia dos maiores consumidores brasileiros e dos segmentos industriais;
- Elaborar o balanço de emissões de CO₂ de todo o setor industrial, identificando os principais emissores de CO₂ da indústria brasileira;
- Determinar um segmento industrial com potencial de redução de emissão a partir da mudança da estrutura de consumo de energia.

Para que os objetivos pudessem ser alcançados, buscou-se medidas de mitigação da poluição industrial focadas em propostas para substituição de combustíveis fósseis, intensivos em carbono, por fontes renováveis.

Para tanto, foi realizado uma pesquisa bibliográfica utilizando como fonte de dados o Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), uma vez que fornece uma retrospectiva da dinâmica e das transformações sofridas pela matriz energética nacional, o que permite análises que direcionam propostas para o desenvolvimento sustentável. Além dessa importante fonte de pesquisa, foram utilizados relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para aplicação da metodologia *top-down*, a fim de mensurar a emissão atual de CO₂ e prever a emissão futura desse poluente com a substituição de energéticos.

Esta pesquisa está organizada nesta introdução, onde são apresentados o tema do trabalho, justificativa, relevância, problema de pesquisa, as possíveis hipóteses e os objetivos. O desenvolvimento é apresentado em sete capítulos, e por fim, as considerações finais deste trabalho.

O capítulo 1 trata sobre as mudanças climáticas globais, as medidas para sua mitigação e a contribuição do setor industrial brasileiro frente a essas mudanças.

O capítulo 2 retrata a questão da sustentabilidade ambiental e as oportunidades que o desenvolvimento sustentável pode trazer para o Brasil e, em especial, para a indústria brasileira.

O capítulo 3, intitulado método, apresenta o método de pesquisa utilizado neste trabalho. É neste capítulo que é feita a uma apresentação das etapas da aplicação da metodologia *top-down* do IPCC para obtenção do nível de emissão de CO₂ a partir do nível de consumo de energia.

O capítulo 4 apresenta a evolução do consumo de energia no Brasil e na indústria brasileira, com ênfase no cenário atual do consumo de energia no Brasil e, em particular, de cada segmento industrial.

O capítulo 5 discorre sobre o cenário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil e a contribuição do setor industrial, destacando os principais gases de efeito estufa, o cenário nacional e internacional de emissões de GEE, as emissões brasileiras de CO₂ e o papel do setor industrial, e, em particular, as emissões de CO₂ de cada segmento da indústria.

O capítulo 6 apresenta as alternativas de mitigação que podem ser adotadas, na indústria brasileira para a redução da poluição, o uso dessas medidas em cada segmento da indústria, políticas públicas e os incentivos que são dados ao consumo de energia limpa.

O capítulo 7 apresenta e discute os resultados obtidos com a realização da pesquisa.

1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O presente capítulo trata das discussões que vem ocorrendo a nível nacional e internacional sobre mudanças climáticas, vislumbrando a posição do Brasil e dos demais países frente a esta problemática; os efeitos da mudança do clima, suas possíveis soluções e a contribuição do setor industrial brasileiro frente às mudanças climáticas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A mudança climática é um dos problemas ambientais mais complexos e desafiantes do nosso tempo, e as ações ou inações de agora terão efeitos sobre as gerações futuras. De acordo com WILBANKS *et al.* (1999) as mudanças globais no clima, meio ambiente, economia, população, governos, instituições e culturas convergem para as localidades.

Essas mudanças têm sido observadas no sistema climático, principalmente através de mensurações diretas, sensoriamento remoto e reproduções paleoclimáticas, as quais são sem precedentes ao longo de décadas a milênios, indicando que o aquecimento global é evidente. Dentre elas, pode-se destacar o aquecimento da atmosfera e do oceano, a redução dos montantes de gelo e neve do planeta, o aumento do nível do mar e o incremento nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (IPCC, 2013).

O relatório do IPCC (2007), já haviam afirmado que a queima de combustíveis fósseis e a mudança no uso do solo eram responsáveis por acelerar o processo de aquecimento global através das emissões de gases de efeito estufa (GEE), resultando em perturbações climáticas e ecológicas.

Os primeiros debates e negociações sobre mudanças climáticas globais foram apresentados na Conferência Mundial sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, em junho de 1972. Durante a Conferência, deu-se o primeiro reconhecimento global dos riscos do meio ambiente e da necessidade de um esforço coletivo do governo e dos setores produtivos.

Em 1988, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), que tem por missão “avaliar as informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para entender os riscos induzidos pela mudança climática, seus potenciais impactos e opções para adaptação e mitigação”.

Em 1990, o IPCC publicou um relatório (*First Assessment Report -AR1*) afirmando que as atividades humanas poderiam estar causando o aumento do *efeito estufa*. O estudo foi a base para as discussões durante a ECO-92, no Rio de Janeiro, quando foi assinada a *Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima* (em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change / UNFCCC*). Cujo objetivo da Convenção foi estabilizar a concentração de gases de efeito estufa (GEE) em um patamar onde não ocorressem interferências climáticas perigosas sobre o sistema climático, e ela atua compilando e divulgando informações sobre as emissões de GEE e políticas nacionais, lançando estratégias nacionais para a mitigação e cooperando na adaptação aos impactos das mudanças climáticas (LUCENA e SCHAEFFER, 2012).

A partir dos anos 90, a busca por medidas mitigadoras para conter a mudança do clima e seus futuros efeitos sobre a humanidade aumentaram e propostas de emissão de redução de GEE e remoção de carbono atmosférico foram sendo discutidas em conferências internacionais (MCTI, 2009). Em 1992, praticamente todos os países do mundo já haviam assinado e ratificaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.

A partir de 1995, dentro do âmbito da UNFCCC, começou a ser realizada a Conferência das Partes (COP) para a discussão dos avanços relacionados às questões climáticas globais (LUCENA e SCHAEFFER, 2012). Em 1997, foi lançado o Protocolo de Quioto, um tratado complementar à UNFCCC, que definiu metas de redução de emissões para os países do Anexo I. Esses são os países desenvolvidos, considerados os maiores responsáveis historicamente por grande parte das emissões. A meta estabelecida foi a redução de 5% das emissões totais dos GEE, referentes ao ano base de 1990, e deveriam ser cumpridas entre 2008 e 2012 (MMA, 2014).

Em 2009, na 15ª Conferência das Partes da UNFCCC (COP-15), foi reconhecida e adotada a recomendação científica de que o aumento da temperatura global não devesse ultrapassar 2° C, a contar da fase anterior à revolução industrial até o final do século XXI (UNFCCC, 2010). Esse limite tinha como objetivo prevenir uma intervenção antropogênica ainda mais intensiva do que a que ocorre atualmente, quando já houve o aumento de 0,8 graus Celsius (CERVIGNI *et al.*, 2013). Foi discutida a importância de se adequar à meta de emissões mundial e nacional o mais rápido possível, tendo em mente que o tempo de adequação dos países em desenvolvimento é maior, devido a outras prioridades existentes nesses países, como a erradicação da pobreza e o desenvolvimento social e econômico.

Os países do Anexo I que haviam se comprometido com o Protocolo de Quioto reiteraram sua posição e se comprometeram a aumentar os esforços na redução das emissões (UNFCCC, 2010). No entanto, não houve compromissos formais de metas de redução de países do Anexo I nem planos nacionais de mitigação por parte dos países em desenvolvimento.

Embora as últimas COPs tenham obtidos avanços com a promoção de ações de desenvolvimento, adaptação e transferência de tecnologia entre os países, bem como tenham chegado a um consenso sobre um acordo universal de redução de emissões de GEE, os resultados obtidos recentemente mostram que o esforço feito ainda não é suficiente para alcançar a meta de temperatura de 2°C quando comparada a níveis pré-industriais (LUCENA e SCHAEFFER, 2012).

No que diz respeito ao posicionamento do Brasil sobre as mudanças climáticas, o país, por não pertencer ao Anexo I, ainda não tem metas obrigatórias de redução. No entanto, na COP15 em Copenhague, em 2009, o país voluntariamente firmou o compromisso de redução das emissões dos GEE's. A meta estabelecida foi a redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esses limites foram definidos na Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Apesar de a posição do Brasil ter um caráter voluntário no âmbito internacional, uma vez promulgada e aprovada no Congresso Nacional Brasileiro, a Lei passa a ter caráter obrigatório no âmbito nacional (RIBAS, 2013). A posição do Brasil de assumir metas voluntárias, as metas internacionais assumidas anteriormente pelos países do Anexo I, e a expectativa de um novo acordo global na 21ª Conferência do Clima (COP-21), realizada em dezembro de 2015, em Paris, tendo como principal objetivo costurar um novo acordo entre países para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, diminuindo o aquecimento global e conseqüentemente limitar o aumento da temperatura global em 2°C até 2100, reforçam a importância de um esforço conjunto para a redução da emissão dos GEE.

1.2 MUDANÇAS DO CLIMA X MITIGAÇÃO

Os efeitos da mudança do clima e suas possíveis soluções são frequentemente debatidos nos meios de comunicação. Políticos e sociedade civil procuram soluções para este problema global de impacto local (BREKKEE E JOHANSSON-STENMAN, 2008).

Entretanto, a adoção e a manutenção de políticas e ações de mitigação de GEE's têm sido insuficientes. Evidências empíricas mostram que a comunicação científica sobre os riscos

da mudança do clima não tem sido suficientemente eficaz para ajudar na adoção dos acordos e estratégias necessários à redução do risco climático.

Segundo Stern (2007), é reconhecido a gravidade da mudança do clima para a economia global e, em especial, para a economia de países em desenvolvimento que têm dificuldades de responder adequadamente a eventos climáticos extremos e cuja população se encontra, em grande parte, exposta a riscos associados a tal processo de modificação ambiental (IPCC, 2012).

Observa-se a mobilização nacional e a articulação entre as diferentes esferas de governo (federal, estadual e a municipal), a sociedade civil e os setores acadêmicos e empresariais em busca de iniciativas que possibilitem o avanço concreto em torno da Agenda do Clima no País. Destaca-se também, a nova moldura político-institucional adotada pelo Brasil para o enfrentamento as alterações climáticas, especialmente consubstanciada nos seguintes aspectos: a aprovação da Política Nacional de Mudanças Climáticas por meio da lei nº 12.187 promulgada em 29 de dezembro de 2009, a adoção voluntária de metas de redução de GEEs, o estabelecimento de novos instrumentos financeiros de gestão que apoiem ações de mitigação do efeito desses gases e o incentivo dado por órgãos de fomento à pesquisa acerca deste tema (LA ROVERE, 2009; BNDES, 2012).

O clima é um exemplo típico de bem público, sobre o qual a mitigação do efeito estufa das emissões de gases será percebida por todos os indivíduos ou nações, independentemente de eles terem ou não contribuído para o aquecimento global. Isso favorece o comportamento denominado por Mancur Olson (1999, *apud* Fonseca e Bursztyn, 2007) de “free-rider” ou caroneiro.

O “free-rider” é aquele que desfruta do bem coletivo sem que tenha pago custo algum por sua obtenção. Seja porque a relação custo/benefício desestimula o ator a agir em prol de seus interesses ou por ser impossível excluir o ator que não contribui com a ação do grupo dos beneficiários (FONSECA E BURSZTYN, 2007, p.179).

Esta característica do clima explica em parte porque nações e agentes produtivos permanecem emitindo GEE's e realizando investimentos – que se apresentam com melhor relação de custo oportunidade no presente, esperando que outros agentes ou nações tomem a iniciativa de mitigar o efeito estufa das emissões de gases (STERN, 2007).

Neste contexto, iniciativas para que sejam estabelecidos acordos globais ainda não conseguiram apresentar os resultados necessários para a redução do risco climático. Contudo,

observa-se, na atualidade uma tendência a acordos multilaterais em prol da prevenção da mudança do clima (BREKKE e JOHANSSON-STENMAN, 2008; HELM, 2008).

As cooperações para alcance de objetivos são mais eficazes quando realizadas por meio de interações intergrupais. Elas contribuem para que haja motivação e se evite o sentimento de culpa em relação à tomada de decisão que tenha reflexos sobre o bem-estar de terceiros, bem como ao exercício de controle e pressão social quanto ao atendimento de normas e/ou regulamentos (GONG *et al.*, 2009).

O estudo coordenado por Stern (2007) concluiu que ações imediatas para a estabilidade as emissões de GEE's devem ser adotadas, pois o benefício de se mitigar a mudança do clima superaria seu custo. Esses resultados visam contribuir para a orientação de tomadores de decisão sobre o custo-benefício da política para a mitigação dos efeitos da mudança do clima (WEITZMAN, 2007).

Os ganhos com as medidas de mitigação vão além da redução da poluição. Segundo Who (2011), a adoção imediata de políticas, programas e tecnologias de mitigação à mudança do clima podem contribuir, também, para a redução concomitante dos danos à saúde humana, caracterizando-se, assim, como benefício social.

1.3 CONTRIBUIÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Como já foi mencionado, na última década, as mudanças climáticas emergiram como umas das principais preocupações para governos, empresas, investidores e sociedade em geral. A gestão eficaz do carbono, minimizando riscos e maximizando oportunidades, já está na agenda da indústria brasileira. (CNI, 2012).

O Brasil oferece ao setor industrial oportunidades excepcionais para ampliar a participação de energias renováveis numa matriz energética que já é uma das mais limpas do mundo. O potencial hidráulico é subutilizado. Há ainda vasta área disponível para aumentar a produção de energia de biomassa (floresta, cana etc.), além do potencial eólico e de energia solar, permitindo à indústria utilizar uma energia mais limpa na comparação com seus concorrentes internacionais. Além disso, a agenda de mitigação de emissões estimula maior eficiência no uso de energia e insumos, reduzindo custos de produção.

O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – Fundo Clima (instituído pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010) é um dos instrumentos da Política

Nacional sobre Mudança do Clima que merece atenção do setor produtivo. Ele tem como objetivo assegurar recursos para apoio a projetos e estudos e financiamento de empreendimentos que visam à mitigação e à adaptação da mudança do clima e aos seus efeitos. O Fundo Clima é uma iniciativa no Plano Plurianual 2012 – 2015, com orçamento estimado em R\$ 389 milhões (trezentos e oitenta e nove milhões de reais) para 2012.

Empresas que implementarem o inventário do nível atual de emissões de GEE poderão aproveitar as novas tendências do mercado, consolidando a imagem de responsabilidade corporativa e preparando-se para lidar com as questões de competitividade que poderão advir de possíveis cenários com restrições de emissões (CNI, 2012).

Então, pode-se concluir que as mudanças climáticas estão diretamente associadas ao ciclo do carbono, uma vez que na natureza o que equilibra a relação de CO₂ com o ambiente é a fotossíntese. E neste processo à medida que a atividade humana passou a poluir mais, as plantas e algas não foram mais capazes de conter o processo de acúmulo de excedente desses gases na atmosfera, ocasionando o aquecimento global.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Um dos motivos pelo qual levou-se a discussão do tema “desenvolvimento sustentável” neste trabalho foi o fato das questões ambientais terem ganho notoriedade no cenário dos negócios, pois as empresas puderam perceber que poderiam agregar valor com melhorias socioambientais, fomentando a relação com consumidores, governos e a sociedade em geral. Além de evoluírem, criarem e oferecerem produtos com qualidade, sem, no entanto, comprometer o meio ambiente e a qualidade de vida das gerações futuras.

O outro motivo foi a relação do tema, desenvolvimento sustentável, com a questão proposta por este trabalho, que é propor a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis na matriz energética da indústria brasileira a fim de reduzir as emissões de dióxido de carbono que afetam nas mudanças climáticas e no desenvolvimento sustentável do país.

Este capítulo apresentará conceitos de desenvolvimento sustentável e as oportunidades que as indústrias nacionais podem ter diante da prática deste conceito.

2.1 CONCEITOS

Desde a década de 1940, o conceito de “Desenvolvimento” vem evoluindo e deixando de ser um dado meramente quantitativo para assumir cada vez mais um caráter qualitativo. Dessa forma, *“o que importa é deixar bem claro que desenvolvimento não se confunde com crescimento econômico, que constitui a condição necessária, porém não suficiente.”* (SACHS in VEIGA, 2005, p.9).

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX.

O desenvolvimento sustentável é um processo que se faz necessário economicamente e principalmente ambientalmente, haja vista que quando da produção de bens para a satisfação das necessidades da coletividade, se deve, sempre levar em consideração a proteção do meio ambiente. Segundo Freitas, assim se define sustentabilidade:

Trata-se de um princípio constitucional que determina, com eficácia direta e imediata, a responsabilidade do Estado e da sociedade pela concretização solidária do desenvolvimento material e imaterial, socialmente incluso, durável e equânime, ambientalmente limpo, inovador, ético e eficiente, no intuito de assegurar preferencialmente de modo preventivo e precavido, no presente e no futuro, o direito ao bem estar (FREITAS, 2012).

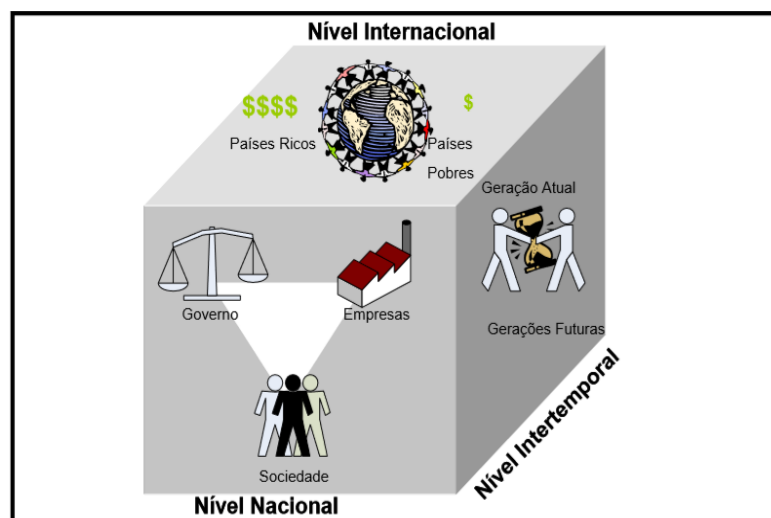
Para Ferrer (2012), a sustentabilidade é a capacidade de permanecer indefinidamente no tempo, alcançando uma capacidade de se adaptar ao que acontece ao seu entorno buscando os níveis de justiça social e econômica necessárias a sustentação da vida humana digna. O que foi dito por Ferrer, reforça a ideia de que as indústrias brasileiras precisam pensar e agir de forma a contribuir com as reduções de gases de efeito estufa.

Segundo Milaré (2007), a Sustentabilidade é qualidade, característica ou requisito do que é sustentável. Dentro de um sistema, a sustentabilidade pressupõe o equilíbrio do que entra e sai, de modo que uma dada realidade possa manter as características essenciais continuamente. Dentro de um enfoque ambiental, a sustentabilidade é um requisito para que os ecossistemas permaneçam inalterados, possibilitando o uso dos recursos naturais somente através do preceito reposição e/ou substituição do mesmo, evitando-se assim a depredação pura, buscando a manutenção do equilíbrio ecológico.

Pode-se dizer que o conceito de desenvolvimento Sustentável, se apoia em três níveis básicos de cooperação: Nacional, internacional e intertemporal. A cooperação nacional se baseia na interação de todos os atores sociais de cada país em busca de um modelo de desenvolvimento mais justo e saudável. A cooperação internacional está relacionada ao diálogo e ajuda entre nações para que o Desenvolvimento Sustentável possa ser aplicado em escala global. Por fim, a cooperação intertemporal diz respeito à necessidade de garantir às gerações futuras qualidade ambiental e social (SOUSA, 2006).

A figura 1, ilustra esses níveis de cooperação para o desenvolvimento sustentável.

Figura 1: Níveis de cooperação para o desenvolvimento sustentável



Fonte: Sousa, (2006)

Como já foi mencionado o tema sustentabilidade vem sendo discutido desde a ECO-92 (a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento) na qual foram elaboradas a Carta da Terra (Declaração do Rio) e a Agenda 21, que reflete o consenso global e compromisso político objetivando o desenvolvimento e o compromisso ambiental. Pode-se dizer, então, que o desenvolvimento sustentado é a chave para mitigar os impactos sobre o clima. É o caminho para a conscientização da necessidade de reparar os erros passados, e reverter o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera.

A Rio+20, ocorrida em junho de 2012, no Rio de Janeiro, cujo objetivo foi discutir sobre a renovação dos compromissos políticos com o desenvolvimento sustentável, ofereceu oportunidade única para uma avaliação dos avanços registrados e dos desafios a serem enfrentados pela comunidade internacional e pelos diferentes países em seus esforços para conciliar desenvolvimento econômico e social com proteção ambiental.

No caso do Brasil, segundo o Relatório de Mudanças Climáticas (RAN 1, 2014), diversos programas podem ser desenhados de forma a contribuir para desenvolvimento sustentável do país e simultaneamente contribuir para evitar emissões de gases de efeito estufa, constituindo-se em NAMAs, são ações de mitigação nacionalmente apropriadas, de países em desenvolvimento, dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. Por exemplo, pode-se destacar algumas das ações a serem utilizadas para atingir os objetivos voluntários pelo governo e alguns programas tal como:

- Redução do desmatamento na Amazônia;
- Redução do desmatamento no cerrado;
- Reflorestamento para produção de carvão vegetal de origem renovável, a ser utilizado no setor siderúrgico;
- Integração lavoura/pecuária, para limitar as emissões do setor agropecuário;
- Eficiência energética;
- Expansão da produção e uso de biocombustíveis;
- Expansão da geração de energia elétrica de fontes renováveis;
- Adequada coleta, disposição e tratamento de resíduos, incluindo a captura, queima e possível utilização como energético do biogás proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de esgotos.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA

O Brasil conta com uma combinação de recursos – biodiversidade, potencial de geração de energia limpa, disponibilidade de recursos hídricos, patrimônio florestal sem comparação no planeta, abundância de terras férteis, dentre outros – que o coloca em posição privilegiada para desenvolver-se de forma economicamente viável, ambientalmente sustentável e com inclusão social (CNI, 2012).

Na indústria Brasileira, a questão de sustentabilidade ganhou força e notoriedade no cenário dos negócios ainda na década de 80, quando as empresas perceberam que poderiam agregar valor com melhorias socioambientais em suas estratégias empresariais, fomentando a relação com os “stakeholders” (partes interessadas). O conceito de empresa de sucesso passou a coadunar com o de responsabilidade socioambiental corporativa em que demonstra maior compromisso com seus funcionários, clientes, sociedade e meio ambiente. De outro lado, a sociedade exige posturas mais sustentáveis das empresas, impõe aos gestores responsabilidade em evoluir, criar e oferecer produtos com qualidade, sem, no entanto comprometer o meio ambiente e a qualidade de vida das pessoas no planeta.

A indústria brasileira deu passos relevantes na incorporação dos objetivos de desenvolvimento sustentável e de responsabilidade social em suas estratégias empresariais, a despeito dos entraves da conjuntura internacional e do ambiente doméstico nem sempre favorável. O conceito de “desenvolvimento sustentável” ou “sustentabilidade” foi descrita por Satterthwaite (2004), como:

a resposta às necessidades humanas nas cidades com o mínimo ou nenhuma transferência dos custos da produção, consumo ou lixo para outras pessoas ou ecossistemas, hoje e no futuro (SATTERTHWAITE, 2004).

O desenvolvimento sustentável deve ser uma consequência do desenvolvimento social, econômico e da preservação ambiental. Para Carla Canepa: “o desenvolvimento sustentável caracteriza-se, portanto, não como um estado fixo de harmonia, mas sim como um processo de mudanças, no qual se compatibiliza a exploração de recursos, o gerenciamento de investimento tecnológico e as mudanças institucionais com o presente e o futuro” (CANEPA, 2007).

A Confederação Nacional da Indústria – CNI, desde a Eco-92, tem buscado estimular o setor industrial a assumir a corresponsabilidade pela gestão sustentável dos recursos naturais,

com inovação e eficiência nos processos, visando ao crescimento sustentado da economia sob a égide da justiça social e conservação do meio ambiente (CNI, 2012).

Para Mello Neto e Fróes (2001), uma empresa socialmente responsável, no campo da preservação ambiental, destaca-se

pela sua excelência em política e gestão ambiental, pela sua atuação como agente de fomento do desenvolvimento sustentável local e regional, e de preservação da saúde, da segurança e da qualidade de vida de seus empregados e da comunidade situada ao redor, e pela inserção da questão ambiental como valor de sua gestão e como compromisso, sob a forma de missão e visão do seu desempenho empresarial (p. 150).

Os temas centrais da Conferência – “Economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza” e “Estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável” – têm potencial para fomentar o desenvolvimento da indústria brasileira sustentado no tripé competitividade, inovação e responsabilidade ambiental e social.

Pode-se dizer que o envolvimento das empresas com as questões ambientais tende a aumentar à medida em que aumenta o interesse da opinião pública sobre os problemas ambientais, bem como grupos interessados nesse tema: trabalhadores, consumidores, investidores e ambientalistas, por exemplo. Segundo Barbieri, *“muitos investidores já consideram as questões ambientais em suas decisões, pois sabem que os passivos ambientais estão entre os principais fatores que podem corroer a rentabilidade e substâncias patrimoniais das empresas”* (BARBIERI, 2004, p.110).

A agenda do desenvolvimento sustentável apresenta inúmeras oportunidades para o Brasil, que tem uma indústria diversificada e sofisticada, além de um relevante parque tecnológico. Diante do que foi discutido na Rio +20, a Confederação Nacional da Indústria, apresentou à sociedade a agenda de contribuição da indústria para o desenvolvimento sustentável. Segundo a Confederação Nacional da Indústria:

A transição para uma economia ambientalmente sustentável e socialmente inclusiva é compatível com os objetivos de crescimento econômico e de melhoria das condições de competitividade. É a presença de fatores que desestimulam os investimentos e inibem a inovação que pode colocar em oposição os esforços de sustentabilidade e a busca de maior competitividade da indústria (CNI, 2012).

O avanço da indústria brasileira nas questões em pauta na Rio+20 traduz o reconhecimento dos diferentes setores industriais de que a sustentabilidade vai-se tornando um fator preponderante para o sucesso dos negócios. Não se trata de lidar com a sustentabilidade como discurso e manifestação de boas intenções, mas de tê-la presente no desenvolvimento dos

planos de negócios das empresas e como variável-chave de suas estratégias de competitividade (CNI, 2012).

Neste contexto, o papel da Confederação Nacional da Indústrias, é alertar para a importância dessa agenda e orientar o setor produtivo a se inserir de maneira competitiva, inovadora e responsável nesse novo modelo. No encontro da Indústria para a Sustentabilidade em 2012, foram discutidos os avanços da indústria brasileira rumo ao desenvolvimento sustentável. A partir da mobilização de 16 associações industriais, que reúnem alguns dos setores mais representativos da indústria brasileira, foram elaborados documentos sobre os obstáculos, desafios, avanços e oportunidades relacionadas à agenda da sustentabilidade de cada um dos setores.

Os diagnósticos setoriais e os avanços registrados nos diferentes segmentos industriais não são homogêneos – e nem poderiam sê-lo, dada a diversidade intersetorial e inter-regional da indústria brasileira –, mas em todos os documentos há casos e experiências que podem servir de referência para a indústria como um todo. Os avanços do setor industrial na direção da sustentabilidade mobilizam inovações tecnológicas e de gestão incorporadas ao processo produtivo, além de iniciativas de autorregulação e certificação. No âmbito da gestão empresarial, tais avanços se apoiam em ações para o aprimoramento contínuo dos níveis de qualidade de vida, qualificação profissional, saúde e segurança dos trabalhadores (CNI,2012).

Os avanços registrados foram:

- Diversificação das fontes de energia renovável – cerca de 40% divididas entre biomassa e hidráulica – e inovação no uso de novas fontes de energia – como biocombustíveis e energia eólica;
- Investimentos em eficiência energética e em economia na utilização da água;
- Racionalização do uso de energia de origem fóssil e utilização de fontes alternativas de energia, através da recuperação energética de resíduos e subprodutos dos processos produtivos;
- Redução drástica na geração de resíduos sólidos e desperdícios, bem como aumento da taxa de reaproveitamento de materiais e produtos;
- Apoio à extração sustentável das matérias-primas para a indústria através de diversos mecanismos de qualificação e de comprometimento dos fornecedores;
- Substituição de insumos com impactos sobre o meio ambiente por novos materiais.
- Redução expressiva de emissões de GEEs associadas a produtos e processos;

- Utilização de matéria-prima proveniente de florestas plantadas como insumo nas cadeias produtivas de diversos setores.

Dentre os avanços identificados pela Confederação Nacional das Indústrias, destacam-se a diversificação das fontes renováveis de energia, racionalização do uso de energia de origem fóssil e utilização de fontes alternativas de energia, a substituição de insumos com impactos sobre o meio ambiente por novos materiais e a redução expressiva de emissões de GEEs associadas a produtos e processos. Os três primeiros avanços são identificados por Henrique Jr. (2010), como medidas de mitigação com o potencial de redução de emissões de CO₂ num cenário de baixo carbono até 2030.

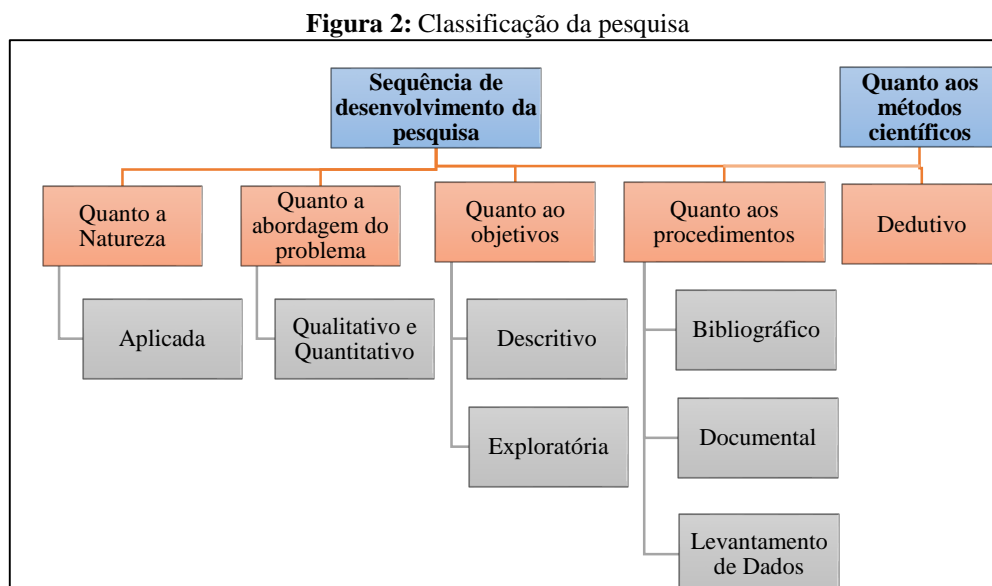
Ainda segundo a CNI, as oportunidades da indústria brasileira no caminho da sustentabilidade estão entre: Energia, Gestão de resíduos sólidos, Clima e emissões, Saneamento, Biodiversidade e florestas, Tecnologia e inovação, Inclusão social e educação, Melhores práticas de gestão e governança corporativa. Tais oportunidades apresentadas reforça a proposta deste trabalho, em se buscar medidas estratégicas que possibilitem reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em especial a de dióxido de carbono.

Para que essas oportunidades, contribuição ao desenvolvimento sustentável, possam ser alcançadas pela indústria brasileira, esta precisa contar com ambientes regulatórios e institucionais favoráveis às transformações produtivas e aos investimentos requeridos.

3 MÉTODO

De acordo com os objetivos propostos, a pesquisa possui natureza quantitativa e qualitativa, de caráter descritivo e exploratório. A fase exploratória consiste na revisão bibliográfica, documental e levantamento de dados, baseada em diversos meios de divulgação científica sobre os temas relacionados às mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável, consumo de energia, emissões de GEEs – em especial, dióxido de carbono. Além de tudo, a revisão bibliográfica trata de medidas estratégicas para a redução da poluição oriunda do consumo de energia na indústria brasileira. Toda a revisão foi realizada nas seguintes fontes de pesquisa: livros, artigos científicos, dissertações, teses, relatórios e balanços energéticos.

A fase descritiva visa a identificação, registros e análises das características, fatores ou variáveis que se relacionam com a frequência dos fenômenos. Cujo objetivo é buscar informações sobre os maiores consumidores de energia na matriz energética brasileira, estabelecendo uma análise da estrutura de consumo de energia dos maiores consumidores, análise do balanço de emissões de CO₂ do setor industrial e identificação dos seus principais emissores de CO₂ e, por fim, identificando o segmento da indústria com potencial de redução de emissões de CO₂. A figura 2 apresenta a classificação da pesquisa, um resumo do que foi mencionado anteriormente.



Fonte: Elaboração Própria (2016)

A principal fonte bibliográfica utilizada neste trabalho foi o Balanço Energético Nacional de 2015 (BEN), criado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao

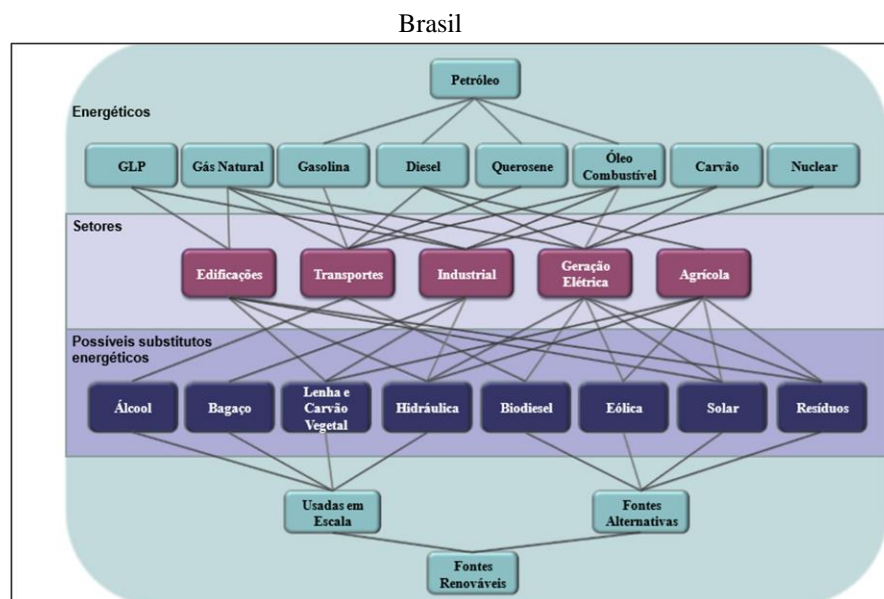
MME, cuja finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

O Balanço Energético Nacional fornece uma retrospectiva da dinâmica e das transformações sofridas pela matriz energética nacional, o que permite análises que orientam propostas para o desenvolvimento sustentável. O relatório divulga anualmente dados relativos à oferta e consumo de energia no Brasil. Com o BEN (2015), foi realizado um estudo da estrutura de consumo de energia nos diversos segmentos industriais brasileiros, a fim de selecionar o segmento a ser utilizado como referência para traçar propostas de mitigação da poluição. Para isso, seguiram-se os seguintes passos:

- a) Identificação dos maiores consumidores de energéticos;
- b) Análise da estrutura de consumo de energia dos maiores consumidores;
- c) Análise do balanço de emissões de CO₂ do setor industrial e identificação dos seus principais emissores de CO₂;
- d) Identificação de um segmento industrial com potencial de redução de emissão a partir da mudança da estrutura de consumo de energia.

Utilizou-se ainda, na proposta de mudança da estrutura do consumo de energia do segmento industrial com potencial de redução de emissões de dióxido de carbono, as múltiplas possibilidades de substituição dos diversos setores consumidores de energia (industrial, transporte, energético, residencial, serviços e agrícola), proposta por Rosa (2005) como mostra a Figura 3.

Figura 3: Múltiplas possibilidades de substituição de energia nos diversos consumidores de energia do



Fonte: Adaptado de Rosa (2005)

Na linha superior estão os combustíveis fósseis que emitem gases do efeito estufa, com exceção da energia nuclear e na linha inferior as fontes renováveis de energia, que não emitem gases ou emitem pouco. Foram desconsideradas na Figura 3 algumas aplicações, por não estarem difundidas no mercado brasileiro, como, por exemplo, o uso de energia solar e do hidrogênio (célula combustível) nos transportes.

Apesar das fontes renováveis serem favoráveis ao meio ambiente, essas apresentam aspectos negativos em relação às outras fontes já consolidadas no mercado, podendo ser citado: o investimento para introduzir o novo equipamento, riscos de suprimento por não possuir tantos fornecedores, a falta de pessoal qualificado para operar com o novo energético e o novo equipamento e a falta de empresas de prestação de serviços para fazer a manutenção dos equipamentos, entre outros.

Todos esses fatores negativos estão sendo estudados, pois à medida que a produção desses equipamentos aumenta, o valor do produto diminui. Além disso, mais empresas de assistência técnica e mais fornecedores do combustível entram no mercado garantindo a melhor operacionalização dessas novas tecnologias.

Ademais, os aspectos positivos relacionados com o uso dessas tecnologias vão além de benefícios econômicos, pois existem benefícios ambientais e sociais que não são mensurados e, por isso, acabam deixando de serem inseridos em estudos de análise de viabilidade.

Para mensurar o nível de emissão de CO₂ de cada setor que compõe a matriz energética brasileira, especificamente do setor industrial brasileiro, bem como, dos segmentos que o compõe foram utilizados relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para aplicação da metodologia *top-down*, a fim de mensurar a emissão atual de CO₂ e prever a emissão futura desse poluente com a substituição de energéticos.

A metodologia do IPCC foi selecionada devido a menor complexidade de obtenção dos dados e por sua confiabilidade. É importante destacar que essa metodologia propõe uma quantificação do volume de emissão sem considerar a propriedade de captura do CO₂ durante o estágio de desenvolvimento dos energéticos de caráter renovável. Portanto, os resultados deverão ser interpretados com moderação para que não haja conclusões precipitadas.

Além disso, a metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia nacional, em um determinado ano, o carbono contido num combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma (como, por exemplos, por meio do aumento do estoque do combustível, da incorporação a produtos não energéticos ou da retenção parcialmente inoxidado). A grande vantagem da metodologia utilizada é não necessitar de informações detalhadas de como o

combustível é utilizado pelo usuário final ou por quais transformações intermediárias ele passa antes de ser consumido.

Após a identificação de um segmento da indústria que utiliza uma significativa quantidade de combustíveis fósseis considerados poluentes e com potencial de redução de emissão será aplicado, em seguida, a metodologia *top-down* do IPCC para quantificação de emissão de CO₂ oriundos do uso desses combustíveis fósseis. Os valores serão calculados em escala anual para cada fonte energética utilizada pelo setor com maior potencial de mitigação de emissão.

Segundo o MCT (2006), o cálculo das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis pela abordagem *top-down* do IPCC abrange as seguintes etapas:

i) Determinação do consumo aparente dos combustíveis em tonelada equivalente de petróleo (tep).

O consumo aparente representa a quantidade de combustível consumida. Esse valor pode ser dado em tep, m³, litros, kg, toneladas ou em qualquer outra unidade para representar a quantidade consumida.

A tonelada equivalente de petróleo (tep) é uma unidade de energia definida como calor liberado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente, 42 gigajoules. Se o consumo não estiver informado em tep, considerar o poder calorífico superior para identificar a quantidade em Mcal (Megacaloria) contida em certa quantidade de combustível.

Com essa informação, será possível calcular, por simples regra de três, a quantidade de tep, pois sabe-se que:

$$I_{tep \text{ brasileiro}} = 10.800 \text{ Mcal} = 10800/10^4 * 41,868 * 10^{-3} \text{ TJ} = 45,217 * 10^{-3} \text{ TJ}$$

A Tabela 1, ilustra o poder calorífico superior (PCS) de alguns energéticos.

Tabela 1: Poder calorífico superior (PCS) dos energéticos

Energético	PCS em Kcal/unidade
GLP	11800 kcal/kg
Óleo Diesel	10200 kcal/l
GNV	9400 kcal/m ³
Etanol	6400 kcal/l
Gasolina	11100 kcal/l
Óleo Combustível BPF	9706 kcal/l
Lenha de Eucalipto (40% de unidade)	2770 kcal/kg
Lenha de Eucalipto	859000 kcal/kg
Energia Elétrica	860 kcal/KWh
Cavacos de Pinus	2770 kcal/kg
Cavacos de Pinus	859000 kcal/m ³
Carvão vegetal	7800 kcal/kg

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

Para o presente trabalho, o consumo aparente foi retirado do Balanço Energético Nacional (BEN, 2015) em tep.

ii) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);

A obtenção do consumo em TJ, se dará pela multiplicação do consumo em tep pelo fator de conversão. Onde o fator de conversão é obtido multiplicando-se $45,217 \times 10^{-3}$ pelo fator de correção. Já o fator de correção é igual a 0,95, quando tratar-se de combustíveis sólidos e líquidos e 0,90, quando o combustível é gasoso. Ou seja,

$$\text{Consumo em TJ} = \text{Consumo em tep} * 45,217 \times 10^{-3} * \text{Fator de correção}$$

iii) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;

A obtenção do conteúdo de carbono inserido no combustível, é determinada pela multiplicação do consumo aparente dado em TJ pelo fator de emissão de carbono dado em

tonelada de carbono por terajoule. A Tabela 2 apresenta o fator de emissão de C e de CO₂ para cada combustível.

Tabela 2: Fator de emissão de C e de CO₂ de cada energético

Energético	(t de C/TJ)	(t de CO₂/TJ)
Petróleo	20	69,7
Carvão vapor	26,8	93,4
Gás natural	15,3	53,3
Óleo Diesel	20,2	70,4
Óleo Combustível	21,1	73,5
Gasolina	18,9	65,8
GLP	17,2	59,9
Querosene	19,6	68,3
Outros energéticos de petróleo	18,4	64,1
Lenha/Carvão vegetal/Bagaço	29,9	104,2
Álcool etílico	16,8	58,5

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

Portanto, podemos obter o conteúdo de carbono em cada combustível a partir de:

$$\text{Conteúdo de carbono} = \text{Consumo aparente (TJ)} * \text{Fator de emissão de carbono (t de C/TJ)}$$

iv) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível;

Nem todo carbono será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos (MCT, 2006).

Com o objetivo de computar somente a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão, faz-se uma correção dos valores para descontar a combustão incompleta do combustível. Para a obtenção das emissões reais, multiplica-se o carbono disponível para a emissão (nesse estudo, igual ao conteúdo de carbono inserido no combustível) pela fração de carbono oxidada na combustão.

A Tabela 3 apresenta a fração de carbono oxidada na combustão para cada energético.

Tabela 3: Fração de carbono oxidada na combustão

Combustível	IPCC	RTD ¹
Combustíveis fósseis líquidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Petróleo	0,990	0,990
Líquidos de Gás Natural	0,990	0,990
<i>Combustíveis secundários</i>		0,990
Gasolina		0,990
Querosene		0,990
Óleo Diesel		0,990
Óleo Combustível		0,990
GLP		0,990
Lubrificantes		0,990
Coque de Petróleo		0,990
Óleos e subprodutos	0,990	
Outros		0,990
Combustíveis fósseis sólidos		
<i>Combustíveis primários</i>		
Carvão Metalúrgico		0,980
Antracito		0,980
Carvão Betuminoso		0,980
<i>Combustíveis secundários</i>		
Coque		0,990
Combustíveis fósseis gasosos		
Gás Natural Seco		0,995
Gás de Refinaria		0,995
Biomassa sólida		
Carvão Vegetal		0,995

Fonte: Valores obtidos no MCT (2006)

Na metodologia do IPCC, esse fato é levado em conta no cálculo das emissões reais, como veremos:

$$\text{Correção dos valores} = \text{Carbono disponível} * \text{Fração de carbono oxidado na combustão}$$

v) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂;

A conversão da quantidade de carbono oxidada para quantidade total de dióxido de carbono emitido é realizada por meio da multiplicação do conteúdo de carbono (após a

correção) por 44/12. O fator molecular utilizado para conversão C para CO₂ é dado a partir da massa molar (massa em gramas de um mol de átomos). Em que:

$$\text{Massa Molar do Carbono (Mc)} = 1 \cdot 12 = 12 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa Molar do Dióxido de Carbono (Mco}_2) = (1 \cdot 12) + (2 \cdot 16) = 12 + 32 = 44 \text{ g/mol}$$

$$\text{Fator de Conversão de C para CO}_2 [M_{co_2} / M_c] = (44 \text{ g/mol}) / (12 \text{ g/mol}) = 3,667 \text{ tCO}_2$$

O Quadro 1 é um resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO₂ a partir do consumo de determinado energético.

Quadro 1: Resumo do passo a passo para obtenção do nível de emissão de CO₂ a partir do consumo de determinado energético

i	ii	iii	iv	v	
Cálculo do consumo em tep (1)	Conversão para TJ (2) = (1) x fator de conversão	Consumo em TJ (2)	Cálculo do conteúdo de carbono (tC) = Fator de emissão de carbono em t de C/TJ x (2)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta = conteúdo de carbono x fração de carbono oxidado	Cálculo da emissão de CO₂ = conteúdo de carbono (após a correção) x 44/12

Fonte: Elaboração própria

Após o uso da metodologia *top-down* do IPCC para identificação do segmento industrial com potencial redução de emissão, foram propostas medidas de mitigação baseadas em mudanças na matriz energética do setor industrial brasileiro, com a substituição dos combustíveis fósseis pelas fontes renováveis.

4 CENÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA - EVOLUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA

Neste capítulo, apresenta-se um breve contexto do consumo de energia no mundo e a posição do Brasil em relação aos demais países. Este capítulo também apresenta o consumo final de energia no Brasil no ano de 2014, o cenário de 2013 a 2050 e como estão distribuídos esse consumo de energia nos diversos setores: Energético, Residencial, Comercial, Público, Agropecuário, Transporte, Industrial e Não Energéticos. Vale destacar que será realizado um estudo da matriz energética da indústria brasileira, identificando os maiores consumidores de energia da indústria brasileira.

É importante salientar que neste capítulo serão apresentados alguns dados retirados da literatura, bem como, serão apontados alguns resultados obtidos a partir dos dados do balanço energético nacional 2015 no que concerne o consumo de energia no Brasil e na indústria brasileira.

4.1 CONSUMO DE ENERGIA NO MUNDO

É importante, antes de realizar um estudo sobre o consumo de energia no Brasil e especificamente do setor industrial brasileiro, construir um cenário mundial do consumo de energia e posicionar o Brasil neste cenário. Segundo a ANEEL (2013), o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados. Essa inter-relação foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos.

Conciliar energia e clima é o maior desafio do século. Nas últimas décadas, estudos de meteorologia e climatologia acumularam evidências de que a produção e o uso da energia que move as atividades humanas estão na raiz da intensificação do aquecimento global que ameaça mudar o clima do planeta, com graves consequências para a humanidade (COPPE, 2011).

Estima-se que até 2030 dois terços a três quartos do crescimento do consumo de energia ocorrerá em países em desenvolvimento (IPCC, 2007).

Segundo a International Energy Agency (IEA, 2015), a energia é fundamental para a prosperidade global, uma vez que está na base do crescimento econômico, o desenvolvimento social e a redução da pobreza. Ele tem alimentado o desenvolvimento econômico global desde a revolução industrial, e os países aspiram a um crescimento econômico mais inclusivo. No

entanto, com mais de 80% da energia global proveniente de combustíveis fósseis, a demanda crescente de energia levou ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. O desafio de hoje é de dissociar o crescimento econômico e o aumento de emissões de gases de efeito estufa. Para isso, exige uma ação por parte dos governos central e local, empresas públicas e privadas, comunidades e indivíduos.

Segundo Walter (2007), resultados positivos no aumento da eficiência do uso de energia dependem muito mais de mudanças comportamentais do que de desenvolvimentos tecnológicos específicos, e esse deve ser o real desafio.

O último apontamento realizado pelo banco mundial em 2013, afirmou que o Brasil ficou com a sétima colocação no ranking dos maiores consumidores de energia do mundo. O País ficou atrás de China, Estados Unidos, Rússia, Índia, Japão e Alemanha

4.2 CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

No Brasil, além do desenvolvimento econômico, outra variável que determina o consumo de energia é o crescimento da população – indicador obtido tanto pela comparação entre as taxas de natalidade e mortalidade quanto pela medição de fluxos migratórios.

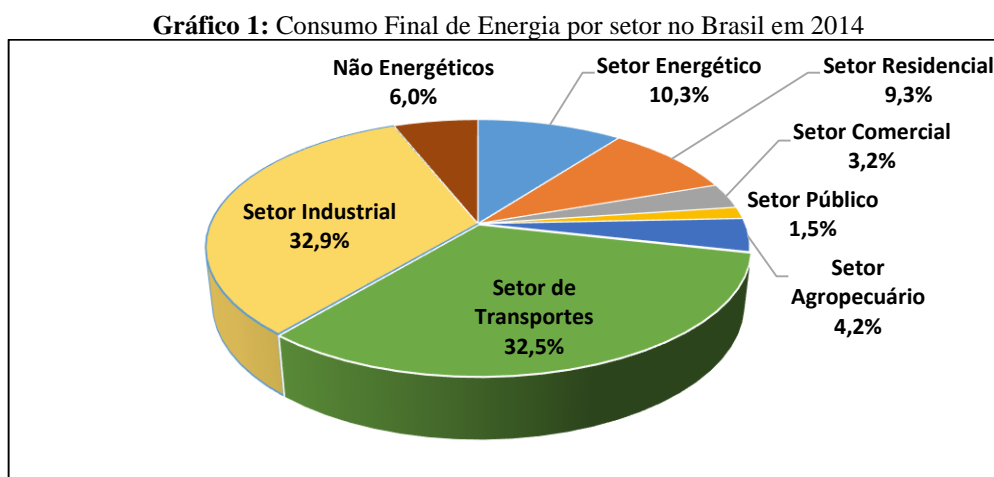
Influenciado pelo desempenho da indústria nacional, abaixo do esperado, o consumo de energia no Brasil cresceu 2,2% em 2014, na comparação com 2013, o pior resultado em cinco anos. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao Ministério de Minas e Energia, os números refletem a queda da produção industrial no Brasil, reflexo da desaceleração da economia. “O segmento que frustrou as expectativas foi a indústria, cujo desempenho foi muito inferior àquele então previsto”, diz relatório da (EPE, 2015).

De acordo com a entidade, a queda no consumo de energia pela indústria no segundo semestre de 2014 foi maior que a prevista, chegando a 5,4%. “Com isso, a previsão de o consumo industrial de energia atingir 186,9 TWh (terawatt-hora) no ano de 2014 foi frustrada em 2,2 TWh, o que equivale à geração anual de uma usina hidrelétrica de 450 MW.”

Segundo a EPE, o total de eletricidade utilizado pela indústria brasileira em 2014 foi de 178.055 gigawatts-hora (GWh), 3,6% menos que em 2013. Esse resultado, portanto, foi puxado pelo menor consumo no segundo semestre do ano passado. A Empresa de Pesquisa Energética aponta que o resultado está alinhado com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que mostram que, entre janeiro e novembro de 2014, a produção da indústria caiu 3,2%.

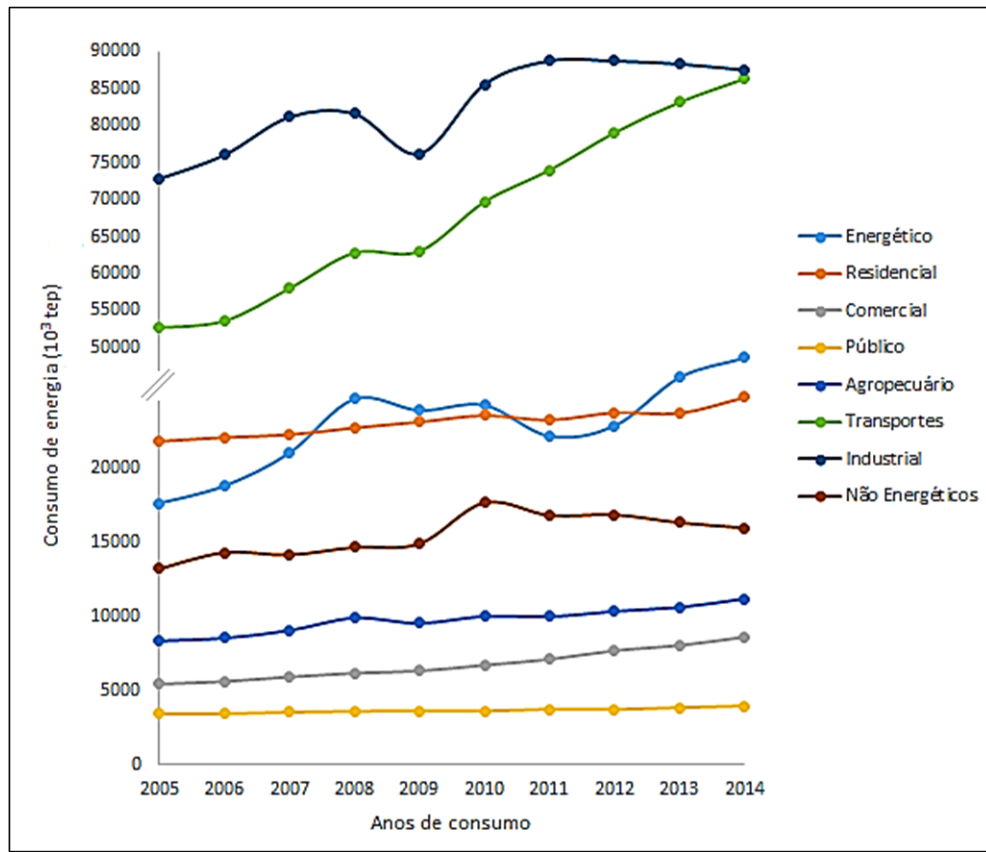
A indústria, pelo porte, foi o setor discrepante no consumo de energia, com um recuo de 0,9% sobre 2013 (exclusive consumo do setor energético), embora alguns segmentos industriais tenham crescido acima de 5%, como papel e celulose (8%) e mineração (5,8%). O resultado negativo se deve, principalmente, às indústrias intensivas em energia, como aço, ferro-ligas e não-ferrosos, que tiveram recuo global de 1,3% no consumo de energia (MME, 2015).

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015, o consumo final de energia (CFE) no Brasil em 2014 foi de 265.864×10^3 tonelada equivalente de petróleo (tep), montante 2,2% superior ao de 2013. A taxa do CFE foi inferior à da oferta interna de energia - OIE (de 3,1%) em razão de maiores perdas relativas de energia (perdas térmicas) na geração termelétrica, situação também verificada em 2013 e 2012. A menor geração hidráulica vem resultando em maior expansão da geração térmica pública e de autoprodutores, o que proporciona maiores perdas térmicas. Em 2014, houve incremento de 4,1 Mtep nas perdas térmicas (MME, 2015). O consumo final de energia, no Brasil, apresenta-se distribuídos entre os setores: Energético, Residencial, Comercial, Público, Agropecuário, Transporte, Industrial e Não Energéticos, como nos mostra o Gráfico 1.



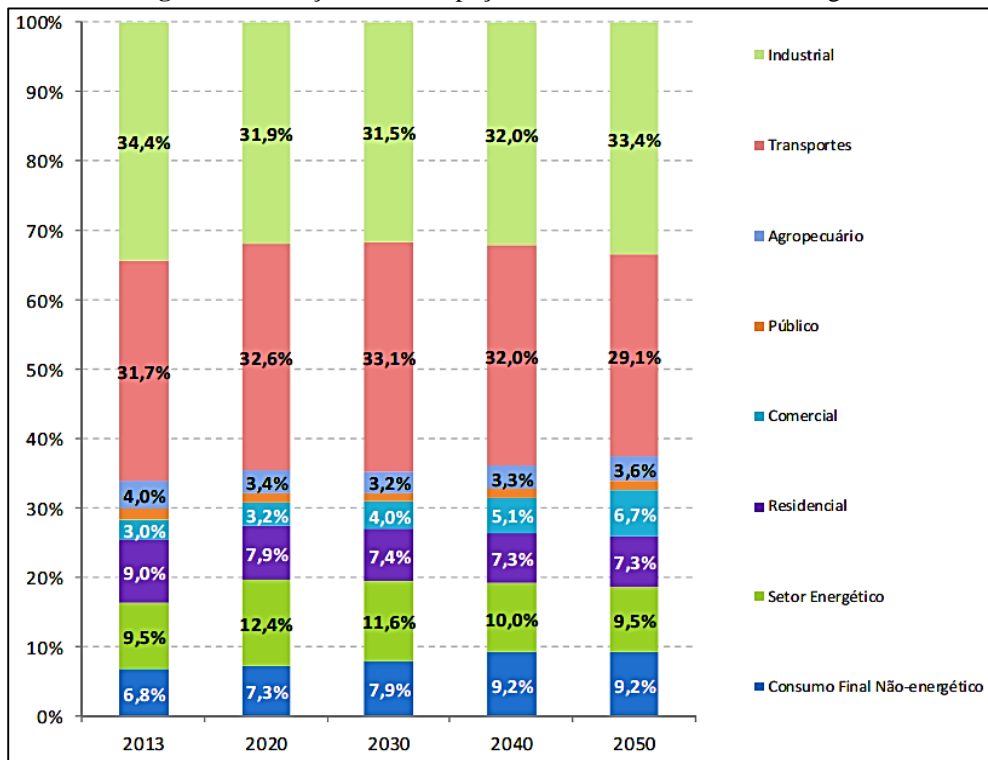
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Observou-se pelo consumo total de energia por setor (Gráfico 1), o setor industrial em 2014 foi responsável por 32,9% do consumo final de energia, com 87.502×10^3 (tep), seguido pelo setor de transportes com 32,5% do consumo total, correspondendo a 86.312×10^3 tep. e do setor energético com um consumo de 27.453×10^3 tep., ou seja, 10,3% do consumo total. A seguir, apresenta-se a evolução do consumo de energia nos diversos setores do Brasil nos últimos dez anos, conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2: Evolução do Consumo de Energia por setores no Brasil entre 2005 e 2014

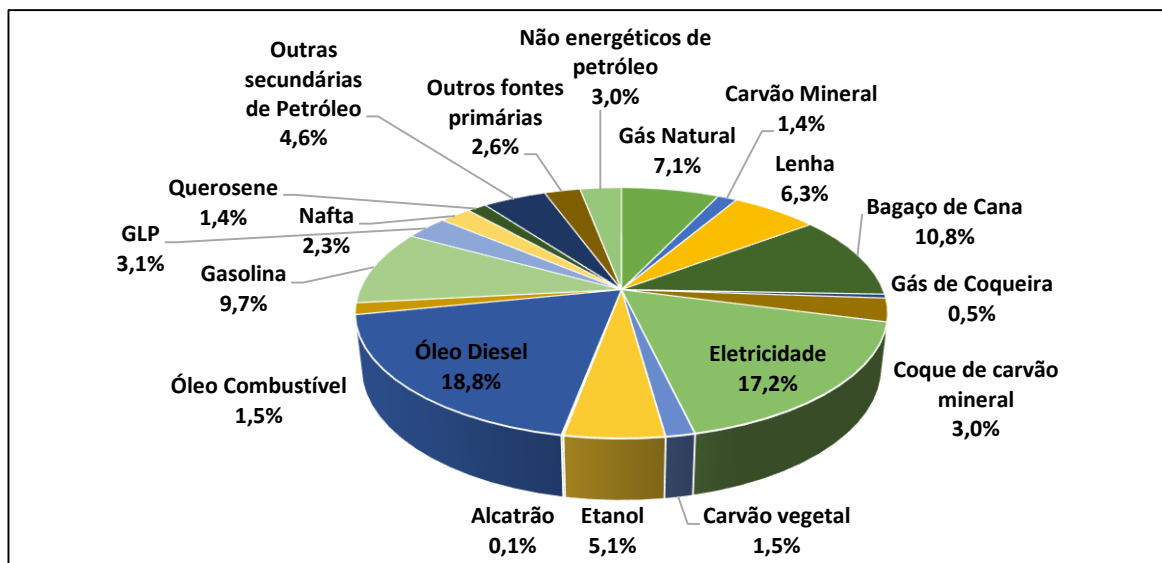
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Verificou-se no Gráfico 2, que os maiores consumidores de energia ao longo de dez anos, são os setores: industrial e de transporte, os demais setores permanecem de forma mais estável. Observou-se para o período de 2005 a 2014, que o setor industrial, dentre os demais setores, é o que possui maior variação em seu consumo de energia, sendo verificado uma queda no consumo de energia de 6,6 % de 2008 para 2009, e um aumento de 12,3% de 2009 para 2010. A empresa de pesquisa energética (EPE), em 2014, realizou um estudo panorâmico de como estará distribuído o consumo de energia, entre os setores até 2050, como nos mostra a Figura 4.

Figura 4: Evolução da Participação setorial no consumo de Energia até 2050

Fonte: Elaboração EPE (2014)

Constatou-se na Figura 4, que os três maiores consumidores setoriais de energia no Brasil a longo prazo são os setores industrial, transporte e energético. Cabe enfatizar que o nível de emissão de dióxido de carbono não depende somente do volume de energia consumido em tep, como também dos energéticos que estão sendo consumidos. O Gráfico 3, apresenta o consumo final de energia por fonte no Brasil em 2014.

Gráfico 3: Consumo final de Energia por fonte no Brasil em 2014

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Destaca-se, no Gráfico 3, a diversidade da matriz energética brasileira e a participação dos renováveis, tais energéticos são provenientes de recursos capazes de se refazer em um curto prazo.

Verificou-se que no período de 2010 a 2014 a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira vem diminuindo, e conseqüentemente o uso dos combustíveis fósseis sofreu um incremento de 10,38% no mesmo período. A Tabela 4, apresenta o consumo final por fonte no período de 2005 a 2014.

Tabela 4: Consumo final de Energia por fonte no Brasil de 2005 a 2014

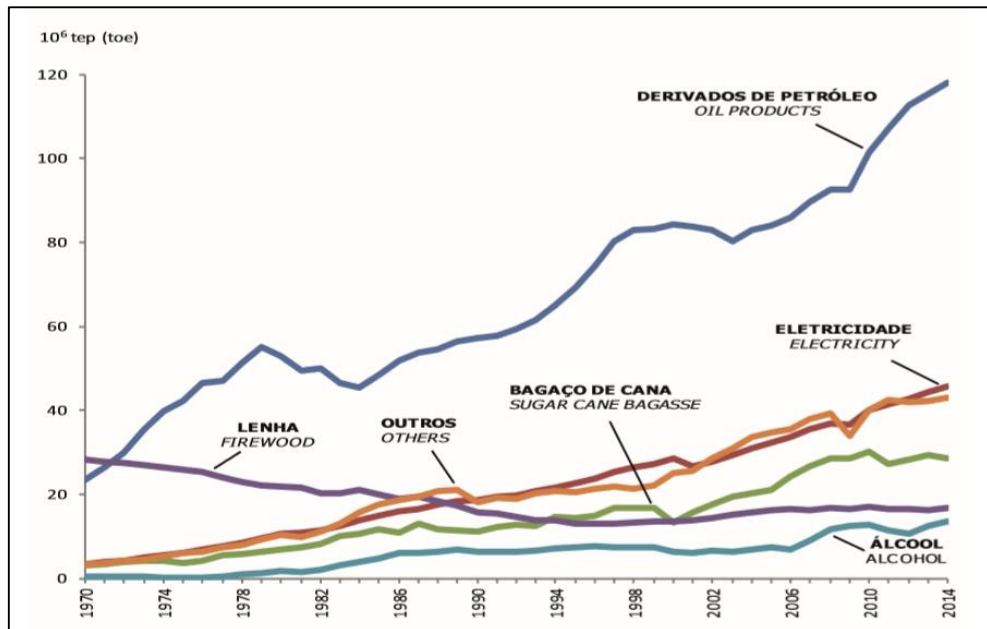
FONTES	10 ³ tep (toe)										SOURCES
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
GÁS NATURAL	13.410	14.384	15.502	16.707	15.307	16.887	17.828	18.247	18.592	18.822	NATURAL GAS
CARVÃO MINERAL	2.828	2.769	2.962	3.082	2.403	3.238	3.715	3.589	3.630	3.821	COAL
LENHA	16.119	16.414	16.310	16.859	16.583	17.052	16.403	16.470	16.182	16.672	FIREWOOD
BAGAÇO DE CANA	21.147	24.208	26.745	28.695	28.445	30.066	27.313	28.376	29.479	28.612	SUGAR CANE BAGASSE
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	4.249	4.636	4.969	5.280	5.568	6.043	6.098	5.936	6.349	6.868	OTHER PRIMARY SOURCES
GÁS DE COQUERIA	1.329	1.289	1.387	1.198	1.200	1.434	1.491	1.430	1.387	1.430	COKE OVEN GAS
COQUE DE CARVÃO MINERAL	6.420	6.137	6.716	6.704	5.309	7.516	8.209	7.999	7.807	8.018	COAL COKE
ELETRICIDADE	32.267	33.536	35.443	36.829	36.638	39.964	41.363	42.861	44.373	45.655	ELECTRICITY
CARVÃO VEGETAL	6.248	6.085	6.247	6.209	3.970	4.648	4.803	4.598	4.161	3.963	CHARCOAL
ÁLCOOL ETÍLICO	7.324	6.986	8.972	11.809	12.550	12.628	11.289	10.522	12.566	13.602	ETHYL ALCOHOL
ALCATRÃO	197	198	203	187	187	238	224	216	210	216	TAR
SUBTOTAL DERIVADOS DE PETRÓLEO	83.954	85.893	89.740	92.654	92.573	101.480	107.124	112.793	115.481	118.186	OIL PRODUCTS
ÓLEO DIESEL	32.643	33.175	35.234	37.827	37.263	41.498	43.551	46.191	48.797	49.935	DIESEL OIL
ÓLEO COMBUSTÍVEL	6.583	6.126	6.498	6.276	5.975	4.939	4.428	3.970	4.043	4.086	FUEL OIL
GASOLINA	13.638	14.494	14.342	14.585	14.720	17.578	20.892	24.512	24.451	25.740	GASOLINE
GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	7.121	7.199	7.433	7.585	7.446	7.701	8.000	8.023	8.314	8.363	LIQUEFIED PETROLEUM GAS
NAFTA	7.277	7.299	7.793	6.879	7.360	7.601	7.386	7.323	6.574	6.203	NAPHTHA
QUEROSENE	2.602	2.416	2.643	2.831	2.847	3.202	3.594	3.784	3.623	3.661	KEROSENE
GÁS CANALIZADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	GASWORKS GAS
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	9.589	9.803	10.850	10.623	11.117	11.164	11.744	11.482	11.886	12.104	OTHER OIL SECONDARIES
PRODUTOS NÃO-ENERGÉTICOS DE PETRÓLEO	4.500	5.381	4.948	6.048	5.844	7.797	7.530	7.509	7.794	8.095	NON-ENERGY OIL PRODUCTS
TOTAL	195.491	202.534	215.197	226.215	220.732	241.194	245.860	253.037	260.218	265.864	TOTAL

Fonte: BEN (2015)

Todas as fontes de energia apresentaram incremento no consumo final de energia (CFE) até 2014, ficando o carvão mineral com a maior taxa, de 3,5%. O fato decorre do maior uso do mesmo na expansão da produção de alumina, em detrimento de recuos na produção por carvão vegetal e eletricidade (MME, 2015).

O Balanço Energético Nacional 2015, divulga a evolução do uso dos energéticos no período de 1970 a 2014, visto na Figura 5.

Figura 5: Consumo final de Energia por fonte no Brasil, entre 1970 a 2014



Fonte: BEN (2015)

Apesar da matriz energética brasileira ser uma das mais limpas do planeta, a preocupação se torna evidente quando é analisado o crescente aumento no consumo dos recursos não renováveis. De acordo com a Figura 5, podemos verificar que o consumo dos derivados de petróleo é crescente e se intensificou nos últimos 10 anos.

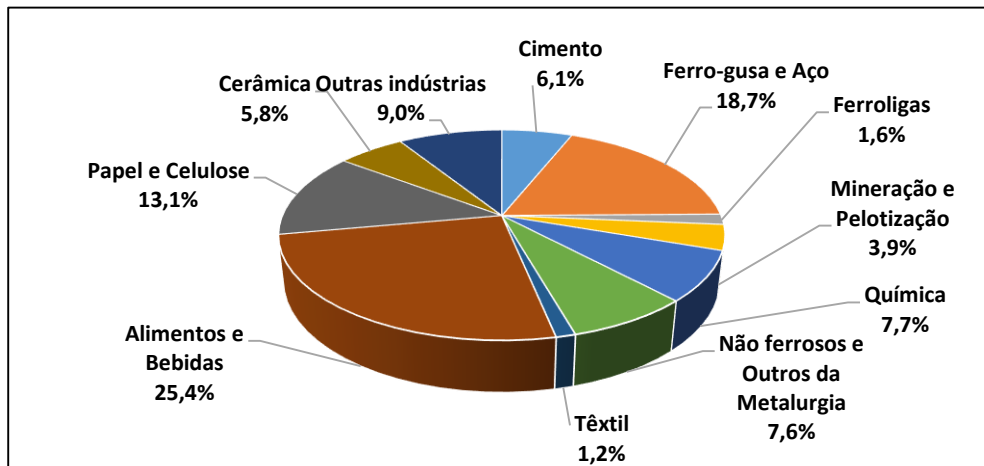
4.3 CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

A partir da análise realizada na matriz energética brasileira quanto ao consumo final de energia no ano de 2014, e da distribuição deste consumo final por setores foi possível identificar os maiores consumidores de energia. Dentre eles, o setor industrial apresenta-se como o maior consumidor. Como o foco deste trabalho está no setor industrial, apresenta-se uma análise do consumo final de energia em cada segmento da indústria.

Dentre os objetivos perseguidos pela indústria nacional, com referência ao melhor aproveitamento das vantagens da matriz energética brasileira, destacam-se a intensificação do uso de fontes renováveis, com menor intensidade de emissões de gases de efeito estufa e os investimentos em eficiência energética (CNI,2012).

A racionalização de energia, por parte de setores que utilizam combustíveis fósseis, tem sido uma preocupação constante na indústria brasileira e os resultados são animadores. O Gráfico 4, apresenta o percentual de consumo de energia por segmento da indústria nacional em 2014, o que nos permite identificar os maiores consumidores de energia.

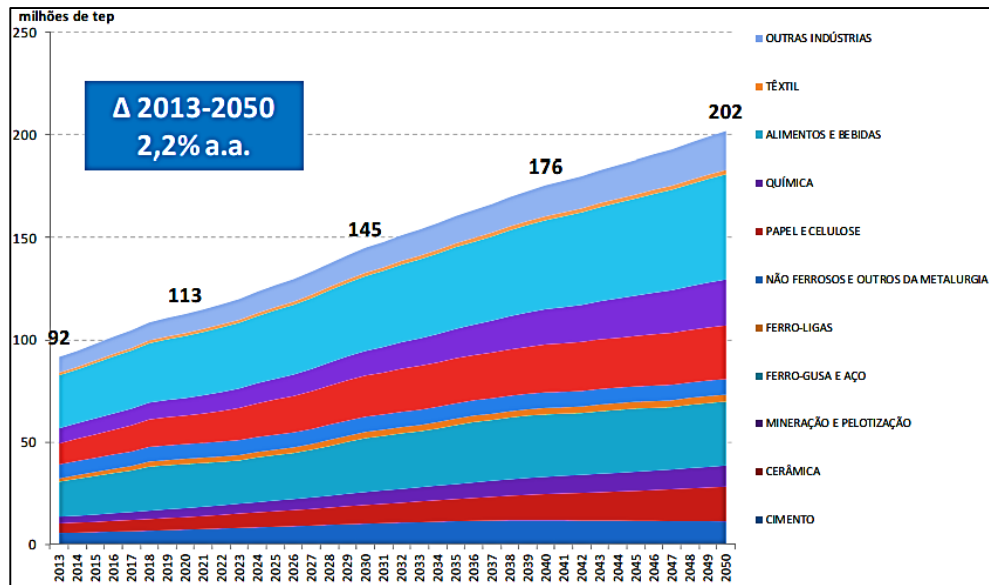
Gráfico 4: Percentual de consumo de energia por segmento de indústria no Brasil



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

De acordo com o Gráfico 4, é possível observar que a indústria de alimentos e bebidas é a maior consumidora dentro do setor industrial, representando 25,4% do consumo de energia (22.208×10^3 tep do consumo total). Em seguida, destaca-se a indústria de ferro-gusa e aço com 18,7%, equivalente ao consumo de 16.354×10^3 tep e a indústria de papel e celulose com 13,1% do total de energia consumida pelo setor industrial brasileiro, correspondendo a 11.423×10^3 tep.

A empresa de pesquisa energética (EPE), em 2014, realizou um estudo panorâmico de como estará distribuído o consumo final de energia, por segmento da indústria até 2050, que pode ser observado na Figura 6.

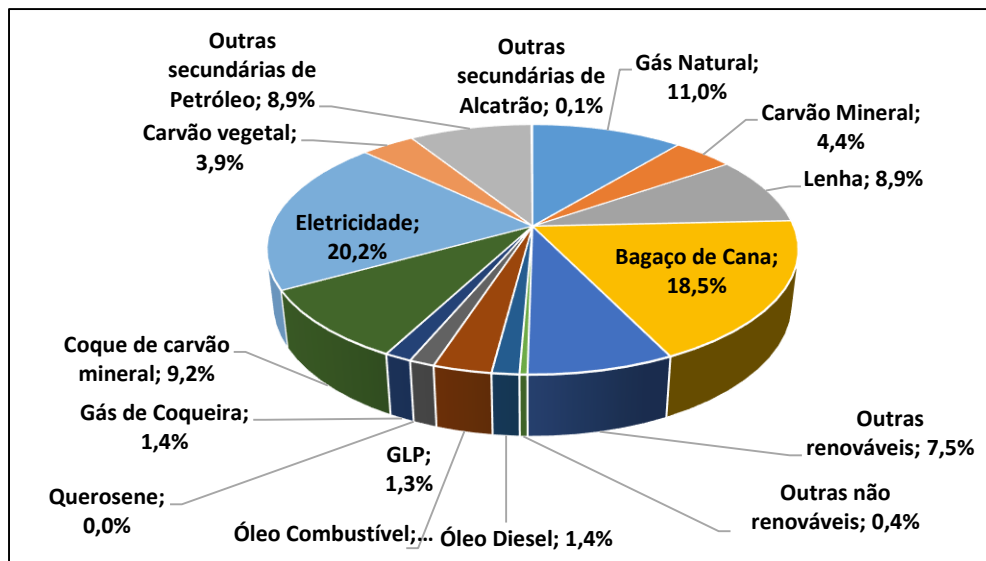
Figura 6: Consumo final energético, por segmento da indústria até 2050 (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

Quanto ao consumo final de energia na indústria, Figura 6, estima-se que evolua de 92 milhões de tep para 202 milhões de tep em 2050, o que corresponde a uma taxa média de crescimento anual de 2,2% a.a. entre 2013-2050. Neste consumo, destaca-se o ganho de participação relativa do gás natural na matriz energética industrial, em decorrência do esperado cenário de oferta competitiva deste energético, por conta da produção tanto oriunda do Pré-sal geológico quanto das reservas de gás não convencional (EPE,2014). Neste contexto, estima-se que o consumo final energético desta fonte na indústria aumente de cerca de 32 milhões de m³ por dia em 2013 para 98 milhões de m³ por dia em 2050, com crescimento médio de 3,1% a.a., bem acima da média de crescimento do consumo de energia total da indústria neste período. Conseqüentemente, sua participação no consumo final energético industrial cresce de 11,2% para 15,6% no período

Como mencionado anteriormente, o consumo de energia tem uma correlação com a poluição oriunda deste setor, porém não é um fator determinante. É necessário realizar uma análise para verificar quais combustíveis estão sendo utilizados na geração de energia.

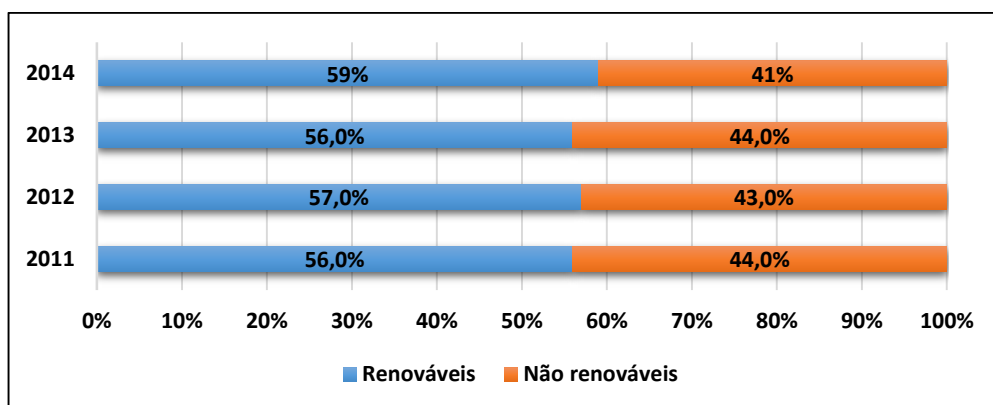
O Gráfico 5, aponta o consumo final de energia por fonte no setor industrial brasileiro, o que nos permite identificar os energéticos de maior consumo na indústria brasileira.

Gráfico 5: Consumo final de energia por fonte na indústria Brasileira em 2014.

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Constatou-se, no Gráfico 5 que a participação das fontes renováveis na estrutura de consumo de energia no setor industrial brasileiro em 2014 equivale a 59% do total do consumo. Em compensação, pode-se observar que o consumo de energéticos de origem fósseis vem aumentando, em especial do coque de carvão mineral e carvão mineral, fontes de energia altamente poluentes (BEN 2015).

É importante lembrar que os combustíveis fósseis poderão acabar em poucos anos, e segundo a Agência Nacional de Petróleo (2014), se manter o nível atual de produção e de reservas de petróleo, o mesmo terá vida útil de, aproximadamente, 35 anos. O Gráfico 6 apresenta a participação dos renováveis no consumo de energia nas indústrias brasileiras durante os últimos quatro anos.

Gráfico 6: Participação dos Renováveis na Matriz Energética Industrial nos últimos quatro anos

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Pode-se observar que a matriz energética da industrial brasileira é uma matriz limpa, pois utiliza mais fontes renováveis do que combustíveis fósseis. Porém, cabe enfatizar que muitas das atividades industriais são dependentes dos combustíveis fósseis, e estes, apresentam um crescimento de 2013 – 2014, além de serem fontes de energia esgotáveis e altamente poluentes, portanto é indispensável investimentos em fontes renováveis de energia, pois, dessa forma, os consumidores não correrão tantos riscos de interrupção de suas atividades por falta de insumos energéticos e reduzirão prejuízos oriundos de autuações pelos órgãos de controle.

As fontes renováveis de energia têm sido a solução escolhida por diversos países, tanto para minimizar os problemas ambientais como para aumentar a segurança no suprimento de energia, uma vez que elas podem, em muitos casos, substituir as fontes convencionais de origem fóssil.

As mudanças no consumo de energia dos segmentos industriais estão atreladas basicamente a três fatores principais: nível de produção ou de atividade, estrutura produtiva do setor ou mix de produtos, e intensidade energética específica que, por sua vez, está associada à tecnologia, à eficiência energética e ao tipo de energético empregado (BOYD et al., 1988, HOWARTH *et al.*, 1991, ANG e LIU, 2007). Na maior parte dos segmentos aqui tratados, os três fatores têm se manifestado, causando mudanças nos consumos de energia (HENRIQUES JR., 2010), conforme será visto a seguir.

4.3.1 Consumo final de energia por fonte em cada segmento da indústria brasileira

4.3.1.1 Segmento Cimento

No processo de manufatura do cimento, a energia térmica gerada pelo combustível, utilizado para secagem, aquecimento e calcinação das matérias-primas, constitui 90% do total de energia consumida. O consumo de energia elétrica responde pelos outros 10% do total. A maior parte da eletricidade é usada no processo de moagem do clínquer (40%), na moagem das matérias-primas (25%) e na operação do forno e do resfriador (20%) (MARÍNGOLO, 2001).

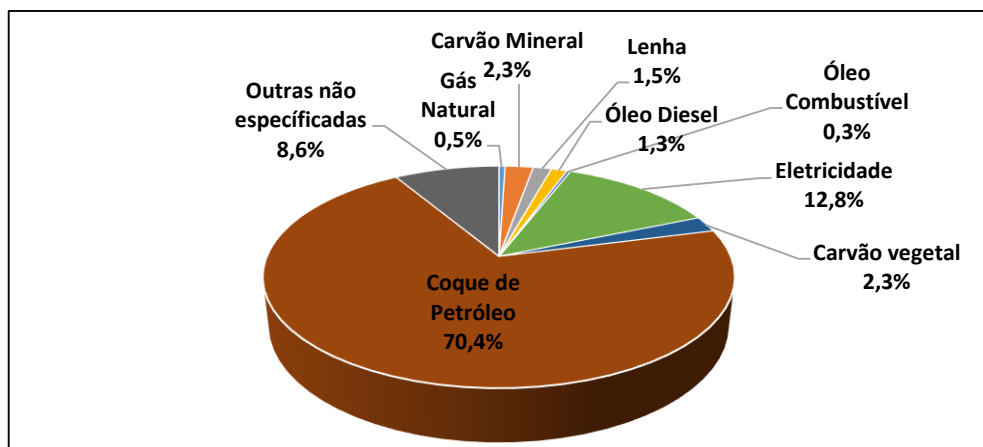
Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), o consumo final de energia em 2014 neste setor foi de 5339×10^3 tep/ano, representando 6,1% do consumo total da indústria nacional e um aumento de 0,98% deste segmento em relação ao ano anterior.

De acordo com Confederação Nacional da Indústria e Associação Brasileira de Cimento Portland (CNI, 2012), no Brasil, a indústria de cimento possui um parque industrial

moderno e eficiente, com instalações que operam com baixo consumo energético. Praticamente, todo o cimento no país é produzido por via seca, processo industrial que garante a diminuição do uso de combustíveis em até 50% em relação a outros processos. Os fornos via seca, no Brasil, são responsáveis por 99% da produção de cimento, enquanto, em escala mundial, esses fornos, de acordo com dados do Cement Sustainability Initiative (CSI), representaram somente 81% em 2009.

Como resultado dessa modernização tecnológica, estudo elaborado pela IEA – International Energy Agency, analisando o potencial de redução de consumo energético dos principais países produtores de cimento, identificou o Brasil como tendo um dos menores potenciais de redução, considerando as melhores tecnologias existentes. O Gráfico 7, apresenta o consumo de energia por fonte no segmento de cimento.

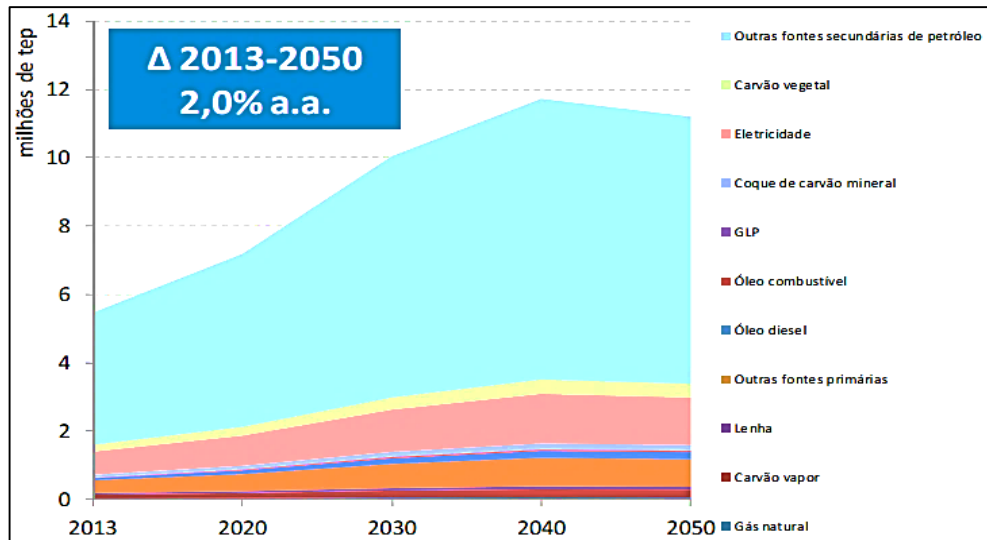
Gráfico 7: Consumo de energia por fonte na indústria de Cimento em 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Atualmente, o principal combustível utilizado pela indústria de cimento é o coque de petróleo, representando aproximadamente 70,4% do consumo total. Entre outros combustíveis utilizados, incluem-se o carvão mineral, óleo combustível, óleo diesel e gás natural. Correspondendo sua matriz energética em 74,9% de recursos não renováveis.

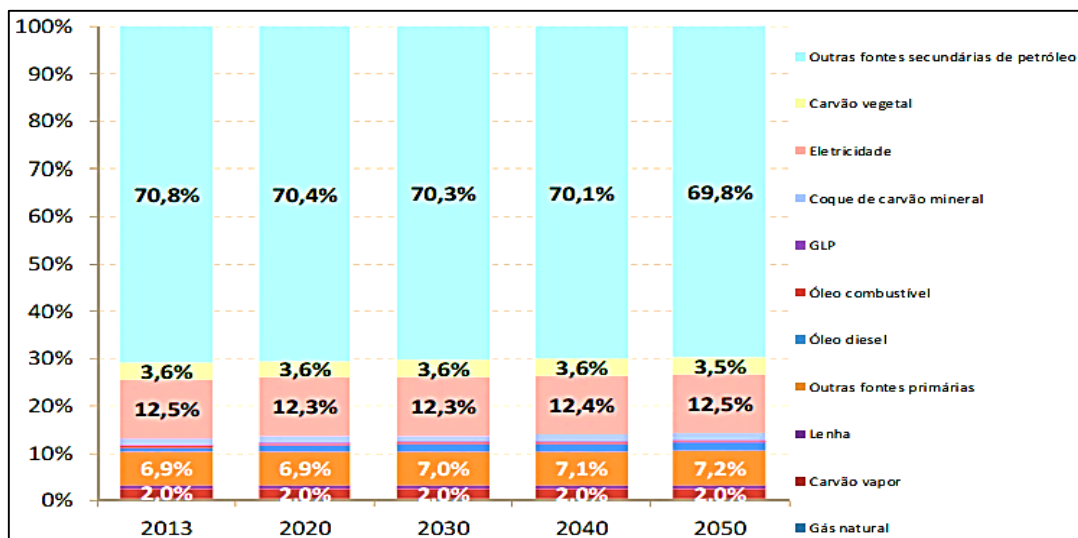
Considerando que o segmento de cimento apresenta um parque industrial moderno e eficiente, com unidades que operam com baixo consumo de combustíveis e, conseqüentemente, com uma menor emissão de CO₂ quando comparada a outros segmentos, e que as emissões oriundas dos combustíveis representam pouco menos da metade da emissão do setor, a busca contínua por uma maior eficiência energética é então, um dos principais pilares no esforço para reduzir as emissões. A Figura 7, nos mostra o crescimento do uso desses energéticos no período de 2013 a 2050.

Figura 7: Consumo final energético no segmento de cimento, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

O cenário apresentado na Figura 7, estima que o consumo final de energia nesta indústria, apresente um crescimento de 5,5 milhões de tep em 2013 para 11,7 milhões de tep em 2040. Após este momento, o consumo final terá uma queda, chegando a aproximadamente 11,2 milhões de tep em 2050.

A Figura 8 representa a variação do consumo por fonte na indústria de cimento no período 2013 a 2050, em porcentagem.

Figura 8: Consumo final energético no segmento de cimento, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

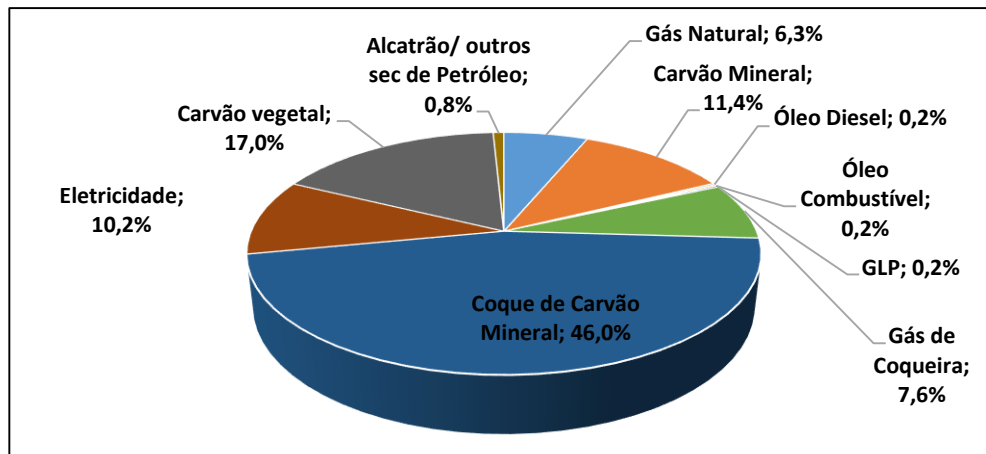
Identificou-se na Figura 8, a confirmação do uso do coque de carvão mineral como sendo o principal combustível utilizado ao longo do período analisado. Na matriz de consumo energético dessa indústria, o coque de petróleo, como já foi mencionado, é o principal energético utilizado e as perspectivas para o longo prazo são que isso não será alterado em grande medida, principalmente por conta da competitividade econômica na utilização desse energético para os fornos rotativos. Assim, o consumo de coque de petróleo que, em 2013 representou cerca de 71% do consumo final, ainda responderá por aproximadamente 70% em 2050 (EPE, 2014).

Em termos da evolução de consumo específico total de energia na indústria de cimento, estima-se que a eficiência energética nesta indústria permita reduzir o indicador global deste segmento de 0,077 para 0,064 tep/t de cimento. Para o consumo de eletricidade, este consumo específico é estimado reduzir-se de 112 para 93 kWh/t de cimento, ou seja, redução de aproximadamente 17% em relação ao ano base. Basicamente, esses ganhos de eficiência se deverão a sistemas de moagem de materiais e de queima de clínquer mais eficientes (EPE, 2014). Em relação à redução de emissões de dióxido de carbono, este segmento da indústria nacional não apresenta preocupações imediatas, pois, quando comparado com os demais segmentos apresenta-se como o 6º segmento com maior consumo de insumos energéticos.

4.3.1.2 Segmento Ferro - Gusa e Aço

A matriz energética da indústria do aço alterou-se pouco em 2014 se comparada aos dois anos anteriores. Houve uma queda no consumo final de energia em 2013, de 3,78% em relação ao ano de 2012, e um incremento de 0,49% em relação a 2014. De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015, o segmento de ferro-gusa e aço é o segundo maior consumidor de energia da matriz energética da indústria brasileira, com um consumo final de 16.354×10^3 tep/ano, correspondendo 18,7% em relação ao total consumido.

O gráfico 8, apresenta como está distribuída a matriz energética da indústria de ferro-gusa e aço por fonte.

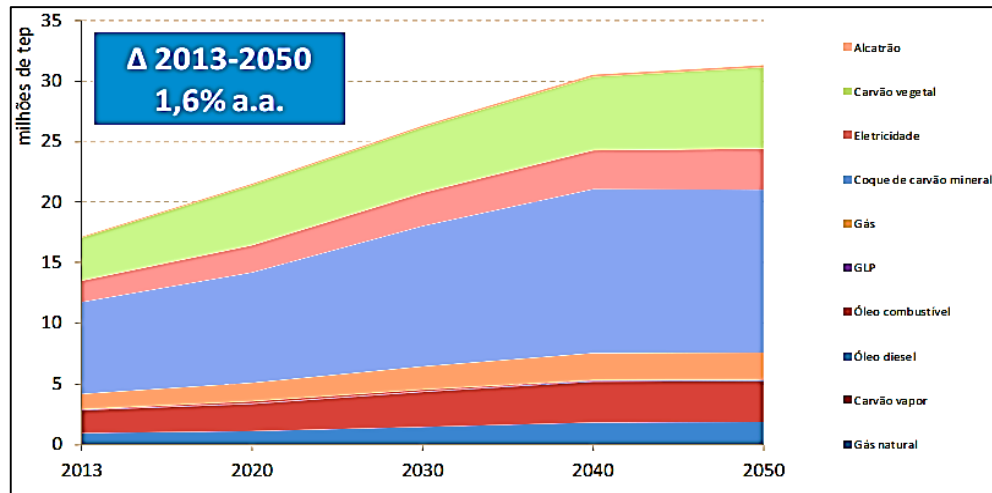
Gráfico 8: Consumo de energia por fonte na indústria de Ferro-Gusa e Aço em 2014

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

O carvão mineral e o coque continuam sendo as principais fontes de energia (57,4%) seguido pelo carvão vegetal (17,0%) e energia elétrica (10,2%). Cabe ressaltar que, diante das características do processo produtivo da indústria do aço, o carvão mineral, coque e o carvão vegetal, além de serem insumos energéticos, são também agentes redutores para a obtenção do ferro-gusa, o que explica a maior participação destes materiais na matriz energética. Outro ponto a destacar é que a indústria do aço brasileira continua se distinguindo como a única no cenário global que utiliza a biomassa (carvão vegetal), recurso natural renovável, como agente redutor no processo produtivo do aço.

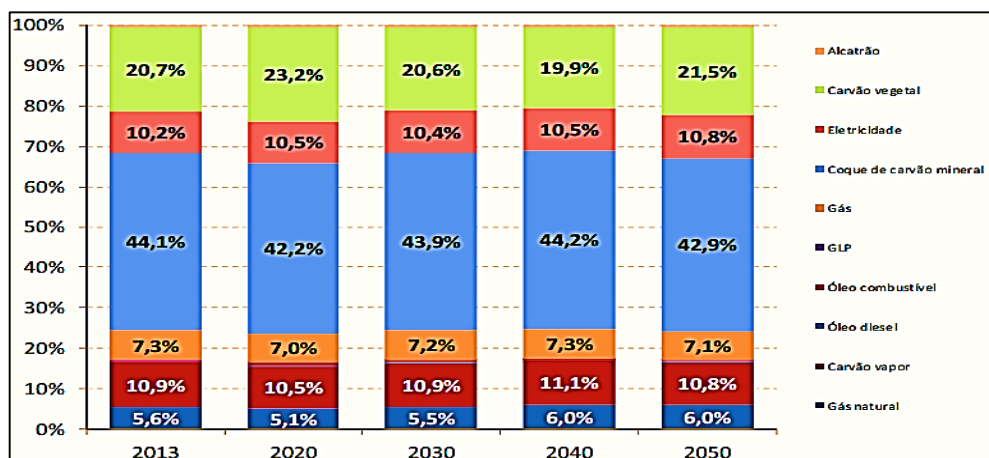
Cabe enfatizar, que tal segmento utiliza-se predominantemente em sua estrutura de consumo as fontes não renováveis de energia, representando uma participação de 72,7% do total de energia consumida pelo segmento. Sendo o Coque de Carvão Mineral, o energético mais consumido, com participação de 46,0% do consumo total, apresentando um aumento nos últimos 3 anos com uma variação de 1,1% de 2013 para 2014. Além do coque de carvão mineral, também constatou-se uma grande participação do carvão mineral, representando 11,4% do total do consumo. Como o coque de carvão mineral e o carvão mineral estão entre os três principais energéticos mais consumidos por este setor, é importante ter uma preocupação com o nível de emissão gerado pelo uso desses energéticos nos processos produtivos.

Por ser um segmento intensivo em energia, o cenário futuro deverá também trazer investimentos para o aumento da eficiência energética, associados à redução de resíduos (BNDES, 2015). A Figura 9, apresenta um cenário de 2013 a 2050, do consumo final de energia no segmento de Ferro-gusa e Aço.

Figura 9: Consumo final energético no segmento de ferro-gusa e aço, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

Como se pode observar nesta Figura 9, o volume de energia consumida em 2013 está estimado em 17,1 milhões de tep, e ao final do horizonte de 2050 este consumo está estimado em 31,3 milhões de tep, ou seja, crescimento médio de 1,6% ao ano. Também podemos observar que o consumo de energia apresenta comportamento de crescimento a taxas menores após 2040. Esse consumo mais contido após 2040, é evidenciado pela empresa de pesquisa energética, como decorrente de necessidades menores de expansão de infraestrutura no Brasil, cujo maior esforço já teria sido realizado. A Demanda de Energia em 2050, elaborado pela EPE, divulga o consumo de energéticos neste segmento, no mesmo período considerado acima, em porcentagem, conforme figura 10.

Figura 10: Consumo final energético no segmento de ferro-gusa e aço, por fonte (%)

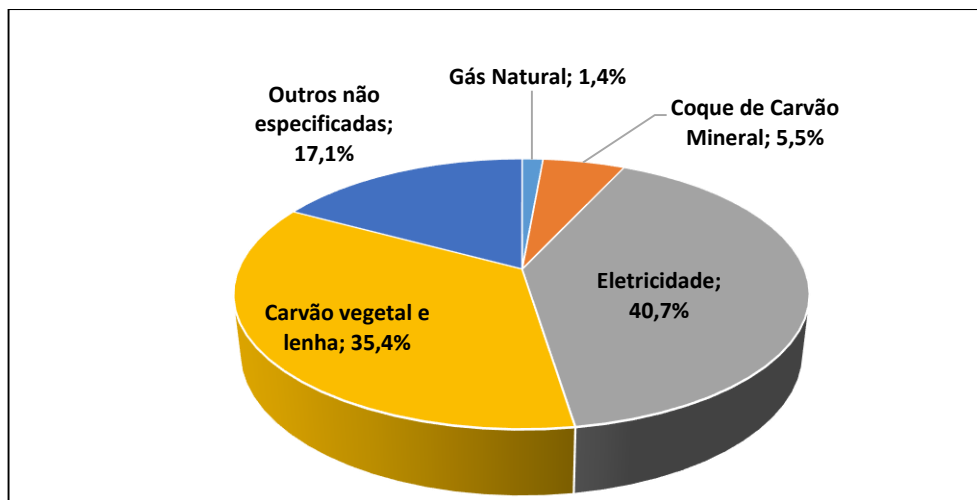
Fonte: Elaboração EPE (2014)

Observa-se ao longo do cenário apresentado na Figura 10, que os energéticos mais utilizados na indústria de ferro-gusa e aço continuam sendo o coque de carvão mineral e o carvão vapor/carvão mineral ambos de origem fósseis e altamente poluentes, não se diferenciando do cenário atual. Portanto, este segmento da indústria brasileira é fator preocupante nas emissões de dióxido de carbono.

4.3.1.3 Segmento Ferroligas

A indústria de ferroligas apresenta-se como uma das menores consumidoras de energia. De acordo com Balanço Energético Nacional, o Consumo final deste segmento da indústria brasileira foi de 1431×10^3 tep/ano, correspondendo 1,6% em relação ao total consumido pelo setor industrial. O Gráfico 9 destaca o consumo de energia por fonte neste segmento.

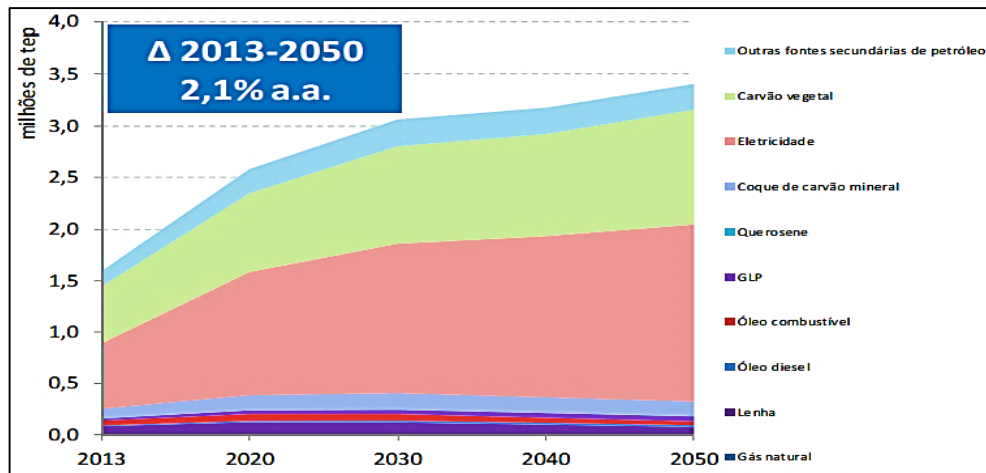
Gráfico 9: Consumo de energia por fonte na indústria de Ferroligas em 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

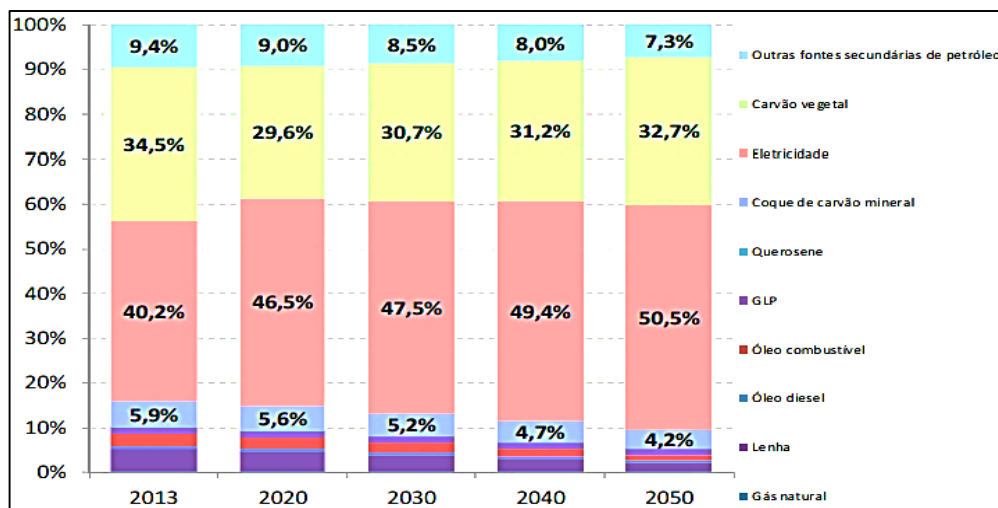
De acordo com o Gráfico 9, a matriz energética do segmento de ferroligas apresenta uma estrutura de consumo constituída predominantemente por fontes renováveis de energia, representando uma participação de 76,1% do total de energia consumida pelo setor.

A Figura 11 apresenta o consumo final energético no segmento de ferroligas, no cenário de 2013 a 2050, em milhões de tep.

Figura 11: Consumo final energético no segmento de ferroligas, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

O consumo de energia, neste segmento, apresenta um crescimento com uma variação de 1,6 milhões de tep em 2013, para 3,4 milhões de tep ao final de 2050. Ainda é possível observar que os combustíveis mais utilizados são a eletricidade e o carvão vegetal, o que intensifica a ideia que este segmento não é uma das maiores preocupações com relação à emissão de dióxido de carbono. A Figura 12 apresenta o consumo final energético no segmento de ferroligas, no cenário de 2013 a 2050, em porcentagens.

Figura 12: Consumo final energético no segmento de ferroligas, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

A eletricidade e o carvão vegetal são os principais energéticos utilizados em ferroligas, com um crescimento acentuado ao longo do cenário de 2013 a 2050. Ainda é possível identificar

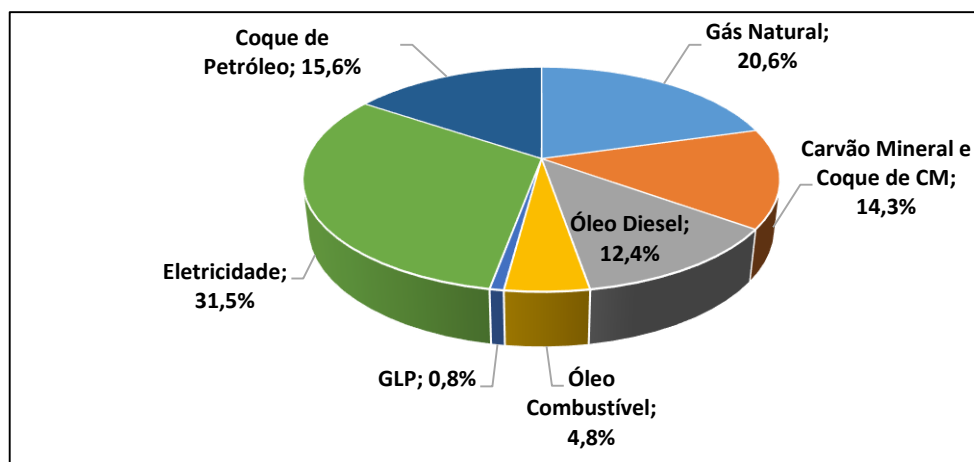
que este segmento da indústria brasileira não é um dos maiores emissores de dióxido de carbono, dentro do cenário apresentado, e que mais de 70% dos combustíveis energéticos são provenientes de fontes renováveis.

4.3.1.4 Segmento de Mineração e Pelotização

A indústria da mineração brasileira, atualmente, encontra-se em um momento de pujante crescimento, relacionado tanto às profundas mudanças estruturais pelas quais o país vem passando quanto à conjuntura social e econômica que o mundo tem vivenciado. Este crescimento é impulsionado pelo processo de urbanização de países emergentes dotados de grande área territorial, alta densidade demográfica e elevado Produto Interno Bruto, como os BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China), que os torna coincidentemente grandes “players” para a mineração mundial (Indústria da Mineração, CNI 2012).

O pujante crescimento do setor de mineração, na última década, tem relação direta com o consumo de energia, mais ainda assim, tal segmento é um dos menores consumidores de energia com 3432×10^3 tep/ano, correspondendo a 3,9% do total consumido pelo setor industrial brasileiro. O Gráfico 10, apresenta a distribuição do consumo final de energia por fonte no segmento de Mineração e Pelotização.

Gráfico 10: Consumo de energia por fonte na indústria de Mineração e Pelotização em 2014

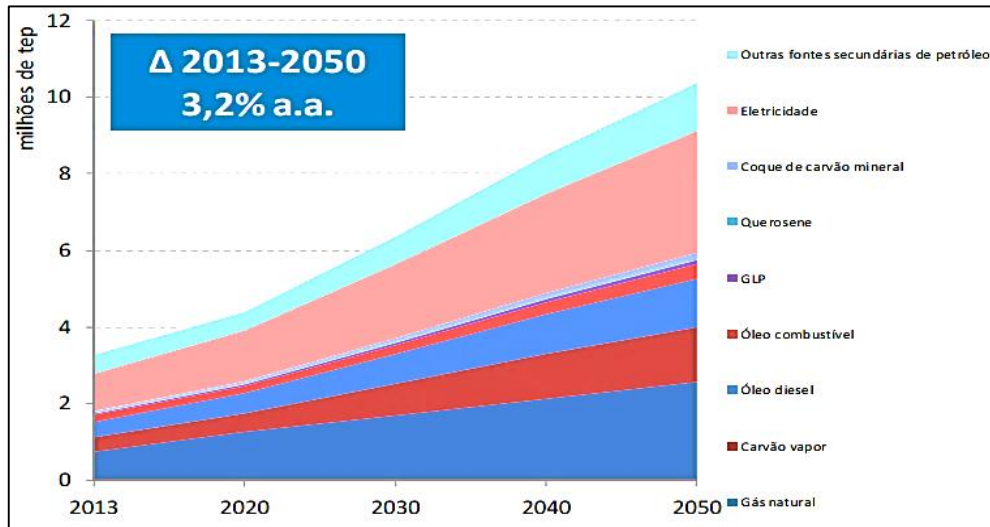


Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Observa-se, no Gráfico 10, que 68,5% dos energéticos utilizados são de origem fósseis. Dentre eles, a que apresenta o maior consumo é o gás natural (20,6%), com menor agressão ao meio ambiente que o petróleo e o carvão mineral. No segmento de Mineração e Pelotização,

também pode ser visto a distribuição do consumo final de energia por fonte no cenário de 2013 a 2050, como mostra a Figura 13.

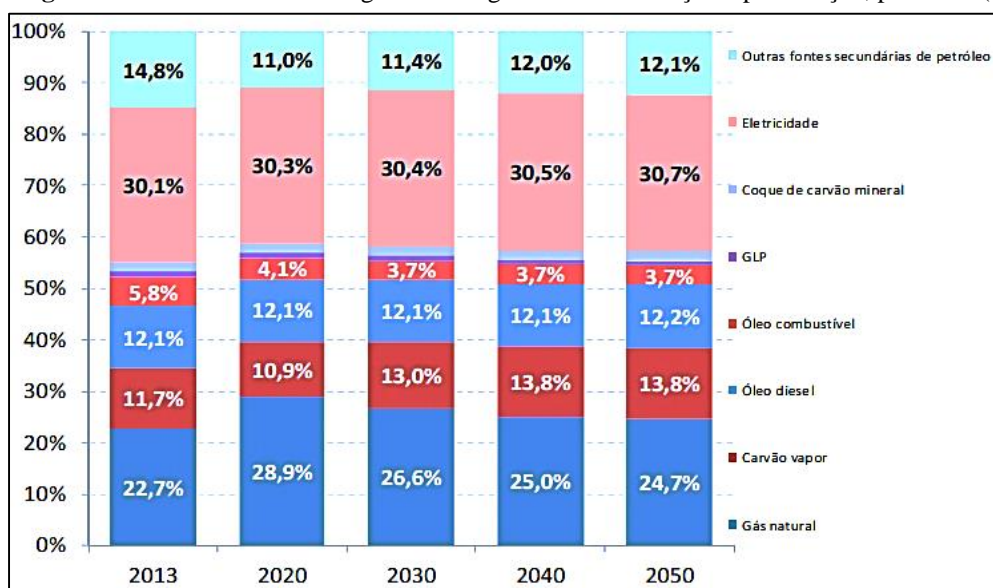
Figura 13: Consumo final energético no segmento de mineração e pelotização, por fonte (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

Há um crescimento no consumo de energia, sua participação no consumo final energético industrial alcança 5% em 2050. Para alcançar este nível de consumo em 2050, este segmento cresce à taxa anual de 3,2% entre 2013 e 2050, acima da média industrial, saltando de 3,3 para 10,4 milhões de tep neste período. A Figura 14, aponta no segmento de Mineração e Pelotização a distribuição do consumo final de energia por fonte no cenário de 2013 a 2050, em porcentagens.

Figura 14: Consumo final energético no segmento de mineração e pelotização, por fonte (%)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

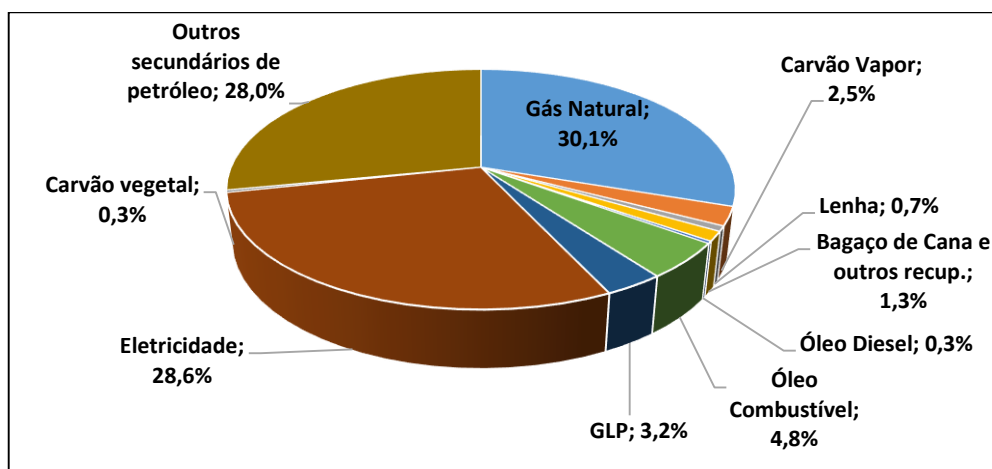
Segundo a EPE (2014), entre 2013 a 2050, é de particular importância a expectativa do consumo de gás natural neste segmento, por conta das unidades de pelletização. Muitas dessas plantas industriais são intensivas em gás natural, sendo que há a expectativa de que as plantas que utilizam óleo combustível possam ser convertidas proximoamente para o uso de gás natural, que sofre um incremento de 23% para 29% em 2020

Como observado na matriz energética de mineração e pelletização em 2014, a eletricidade, ao longo do cenário apresentado, é o principal energético utilizado e cresce acompanhando o consumo de energia global do segmento. Portanto, este segmento não apresenta grandes preocupações com emissões de dióxido de carbono.

4.3.1.5 Segmento Químico

Dentro da indústria química, segmentos tais como a petroquímica, produção de fertilizantes e de cloro-álcalis despontam como os principais consumidores de energia. De acordo com o relatório da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2012), o setor químico vem realizando esforços para aumentar a eficiência no uso de energia. De acordo com o documento, as iniciativas de autoprodução e cogeração de energia elétrica possibilitam o reaproveitamento das reações exotérmicas dos processos produtivos e a produção conjunta de vapor e energia elétrica, aumentando a eficiência no uso dos combustíveis. O Gráfico 11 apresenta o consumo final de energia por fonte no segmento químico da indústria brasileira.

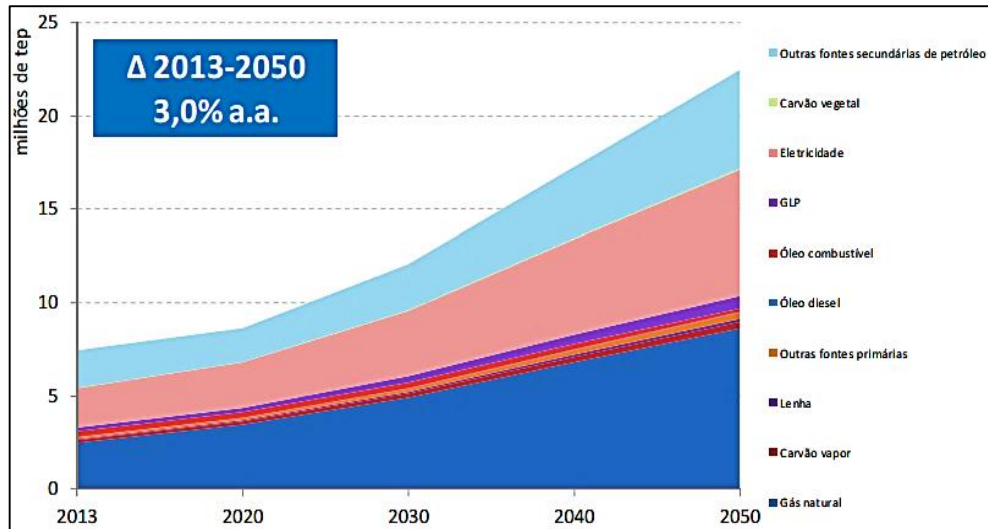
Gráfico 11: Consumo de energia por fonte na indústria Química em 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

O consumo final de energia na indústria química em 2014, foi de 6709×10^3 tep/ano, correspondendo a 7,7% do total consumido pelo setor industrial brasileiro, sendo pouco representativo em relação aos demais segmentos da indústria. A matriz energética é formada predominantemente por combustíveis de origem fóssil, correspondendo a 68,9%. A Figura 15, retrata como estará distribuído o consumo de energia por fonte, no período de 2013 a 2050.

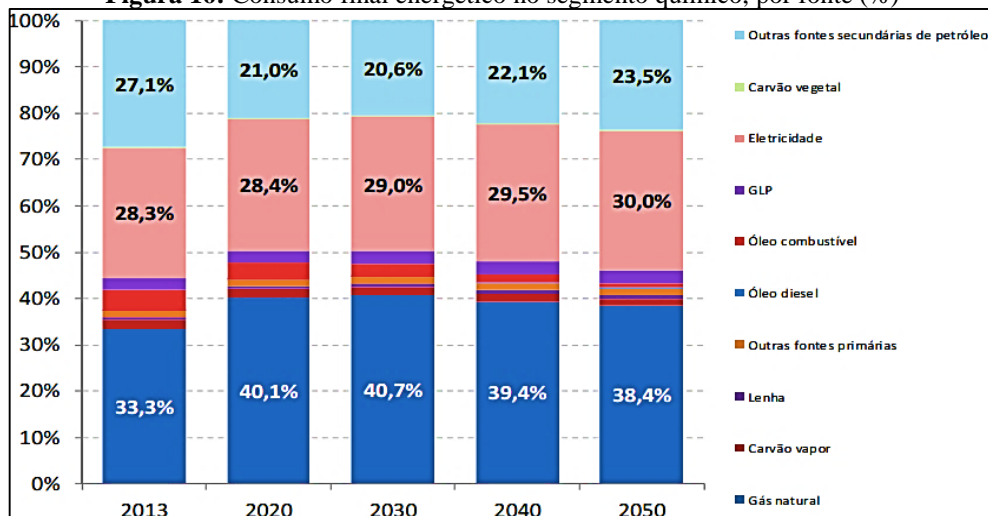
Figura 15: Consumo final energético no segmento químico, por fonte (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

No cenário adotado, o segmento químico como um todo ganhará importância, alcançando cerca de 22 milhões de tep em 2050, tendo partido em 2013 de somente 7 milhões de tep, triplicando o consumo energético. A Figura 16 reforça a distribuição do consumo de energia por fonte, no período de 2013 a 2050, em porcentagem.

Figura 16: Consumo final energético no segmento químico, por fonte (%)



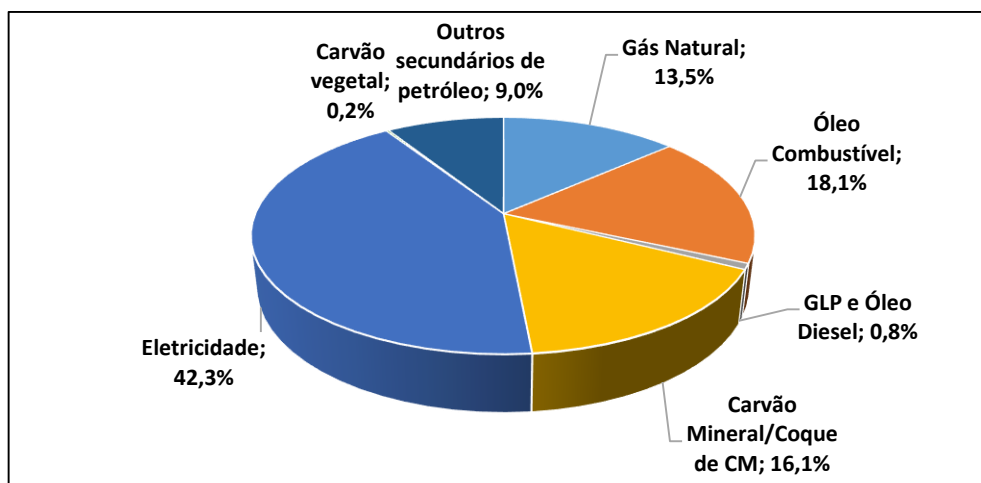
Fonte: Elaboração EPE (2014)

Os principais energéticos utilizados na indústria química, de acordo com o cenário de 2013 a 2050, são o gás natural, eletricidade e outras fontes secundárias de petróleo, o que não se diferencia do atual cenário. Portanto, este segmento da indústria brasileira não é fator preocupante nas emissões de dióxido de carbono.

4.3.1.6 Segmento Não Ferrosos e outros da Metalurgia

De acordo com o balanço energético nacional de 2015, o consumo final de energia no segmento Não Ferrosos e outros da Metalurgia, foi de 6616×10^3 tep/ano, correspondendo a 7,6% do total consumido pelo setor industrial brasileiro, apresentando-se como um dos segmentos menos representativo no consumo de energia, em relação aos demais segmentos da indústria. O Gráfico 12 exibe a distribuição do consumo final de energia por fonte no ano de 2014.

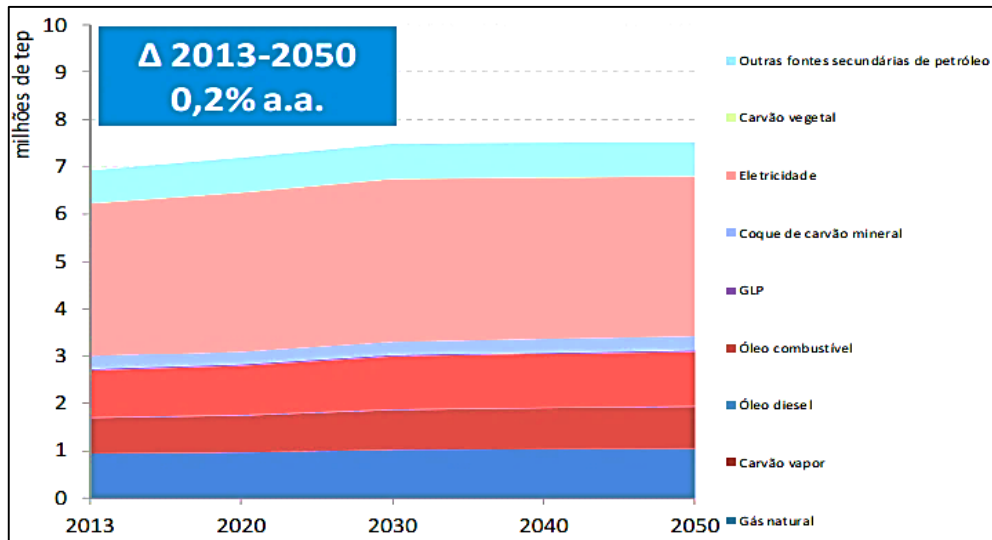
Gráfico 12: Consumo de energia por fonte na indústria de Não Ferrosos e outros da Metalurgia em 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Verificou-se que 57,5% das fontes energéticas são de origem fósseis, e os que apresentam –se com o maior consumo são o óleo combustível com 18,1% e carvão mineral e coque de carvão mineral com 16,1%. Mesmo com esse expressivo consumo das fontes não renováveis o segmento de Não Ferrosos e outros da Metalurgia apresenta-se entre os menores emissores de CO₂. A Figura 17 dispõe do cenário de 2013 a 2050, da distribuição do consumo final de energia por fonte no segmento de Não Ferrosos e outros da Metalurgia.

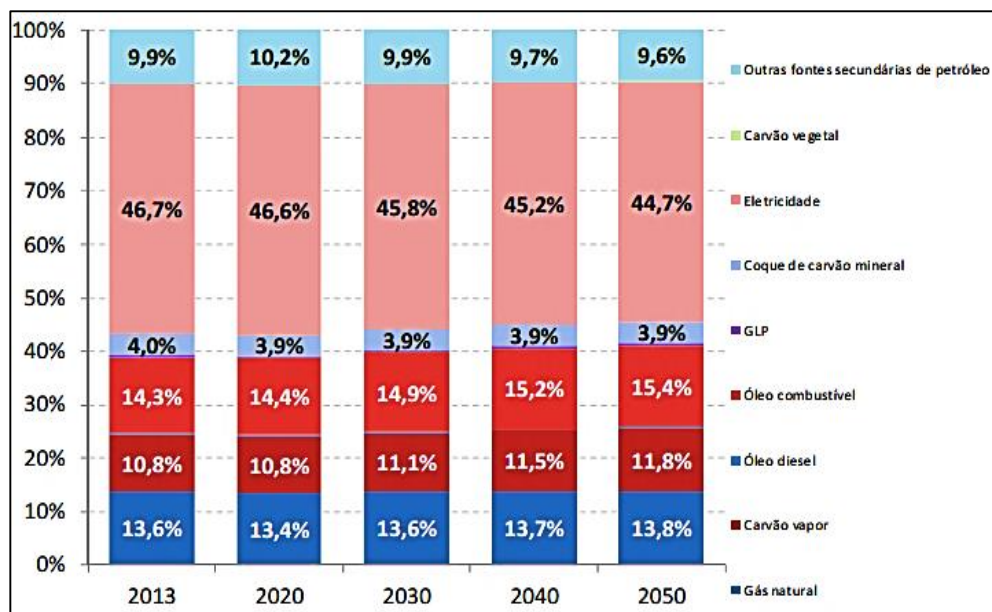
Figura 17: Consumo final energético no segmento não ferrosos e outros da metalurgia, por fonte (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

Este segmento tende a expandir a sua demanda energética a uma taxa bem inferior à média industrial, com apenas 0,2% ao ano entre 2013 e 2050, saindo de 6,9 para 7,5 milhões de tep. A produção de alumínio é muito importante no montante do consumo energético, por ser altamente eletrointensiva, como mostra a Figura 17. O consumo final de energia por fonte, em porcentagens também podem ser visto na Figura 18.

Figura 18: Consumo final energético no segmento não ferrosos e outros da metalurgia, por fonte (%)



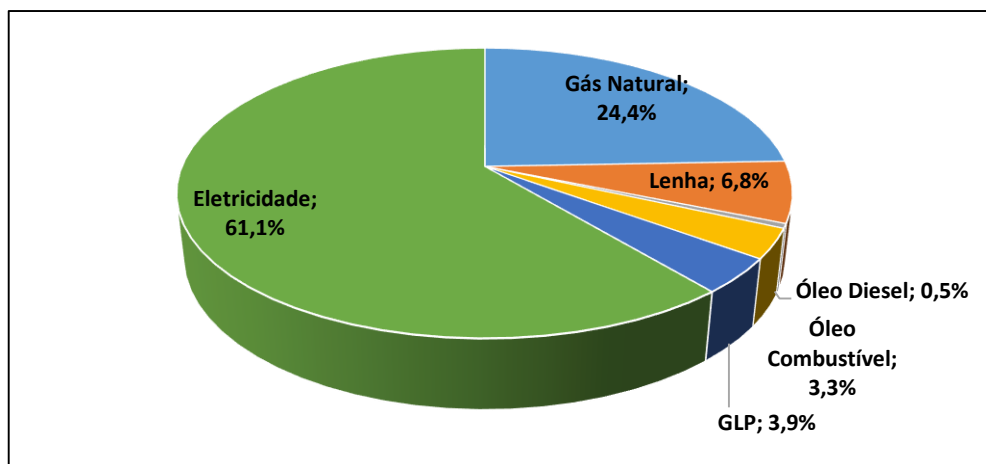
Fonte: Elaboração EPE (2014)

É possível observar que o consumo final de energia, ao longo do cenário apresentado, não se difere muito do que é visto no ano de 2014. O que nos leva a concluir que este segmento da indústria, de fato, apresenta em sua matriz energética uma maior porcentagem no uso dos combustíveis não renováveis, no entanto, a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa não são das maiores, visto que, o consumo de energia é um dos menores apresentados entre os segmentos da indústria brasileira.

4.3.1.7 Segmento Têxtil

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2015, o consumo final de energia em 2014 neste segmento foi de 1018×10^3 tep/ano, representando 1,2% do consumo total da indústria nacional, sendo portanto, o segmento da indústria brasileira que menos consome energia em seus processos. O Gráfico 13 dispõe da distribuição do consumo final de energia por fonte no ano de 2014.

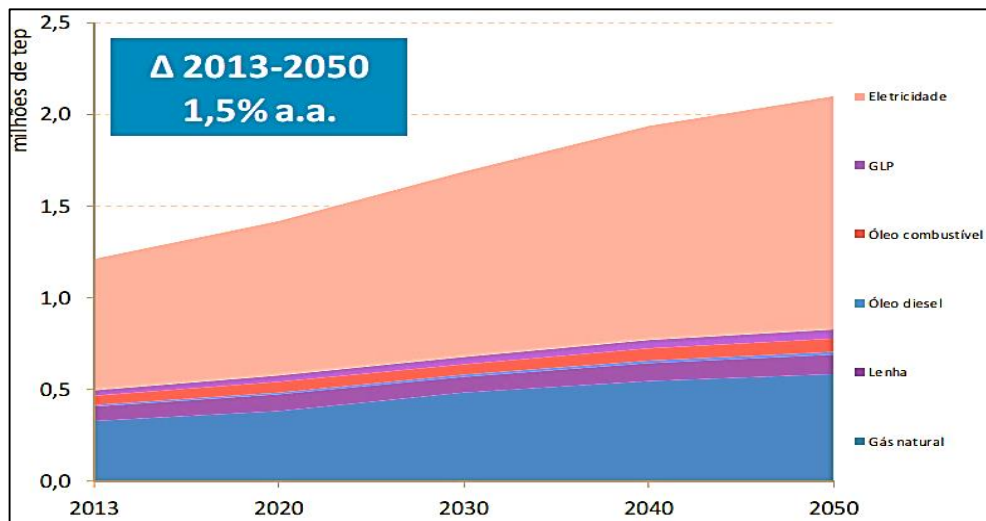
Gráfico 13: Consumo de energia por fonte na indústria Têxtil em 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

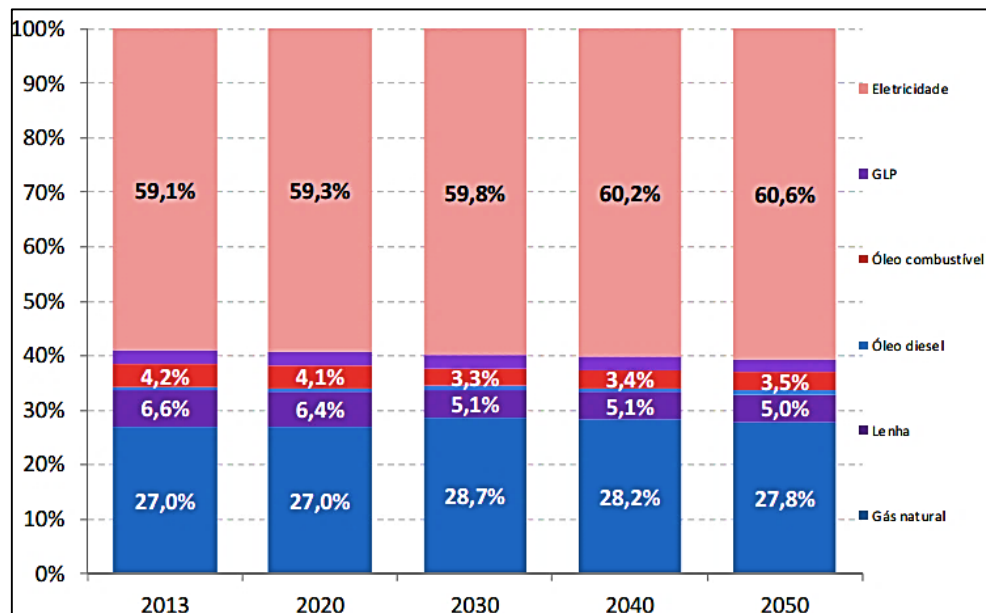
A matriz energética da indústria têxtil é composta por 67,9% de fontes de origem renováveis. Pelo Gráfico 13, a eletricidade e o gás natural são os combustíveis com maior representatividade.

A Figura 19 dispõe do cenário de 2013 a 2050, da distribuição do consumo final de energia por fonte no segmento Têxtil.

Figura 19: Consumo final energético no segmento Têxtil, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

É possível identificar na Figura 19, que o consumo de energia no segmento têxtil, de acordo com as perspectivas de evolução do valor agregado e de intensidade energética, tem um cenário de incremento médio anual de 1,5%, saindo de 1,2 milhões de tep em 2013 para 2,1 milhões de tep em 2050. O consumo final de energia neste segmento por fonte, em porcentagens também pode ser visto na Figura 20.

Figura 20: Consumo final energético no segmento Têxtil, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

A matriz energética deste segmento é concentrada em gás natural e, principalmente, em eletricidade, tendo participações menos expressivas de óleo combustível e lenha. Para o

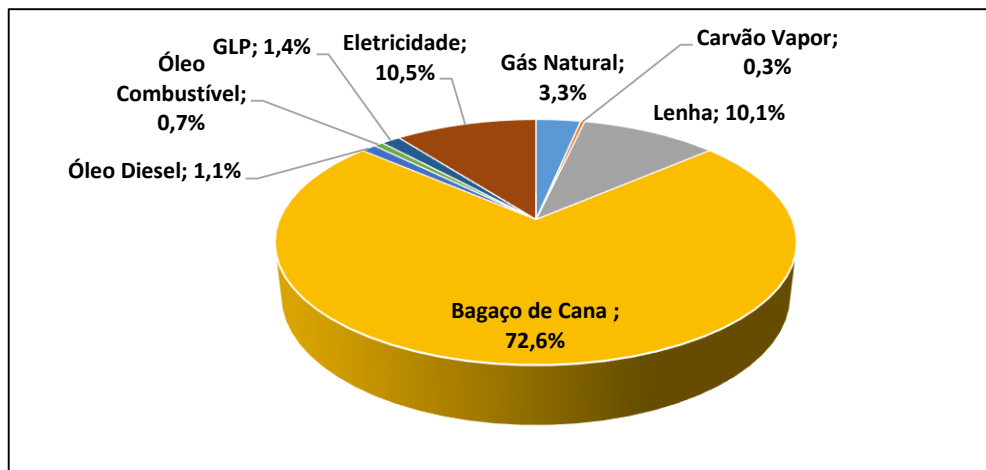
horizonte de 2050, como mostra a Figura 20, a tendência é que o consumo de energia se concentre ainda mais nas duas principais fontes, em substituição às demais. Com isso, em 2050, a energia elétrica e o gás natural atingem as participações e 60,6% e 27,8% do consumo final energético, respectivamente.

O cenário apresentado nas Figuras 19 e 20, realizado pela EPE (2014), nos leva a concluir que este segmento da indústria apresenta uma maior participação de combustíveis renováveis, sendo portanto, um dos segmentos que remete menor preocupação com as emissões de dióxido de carbono.

4.3.1.8 Segmento de Alimentos e Bebidas

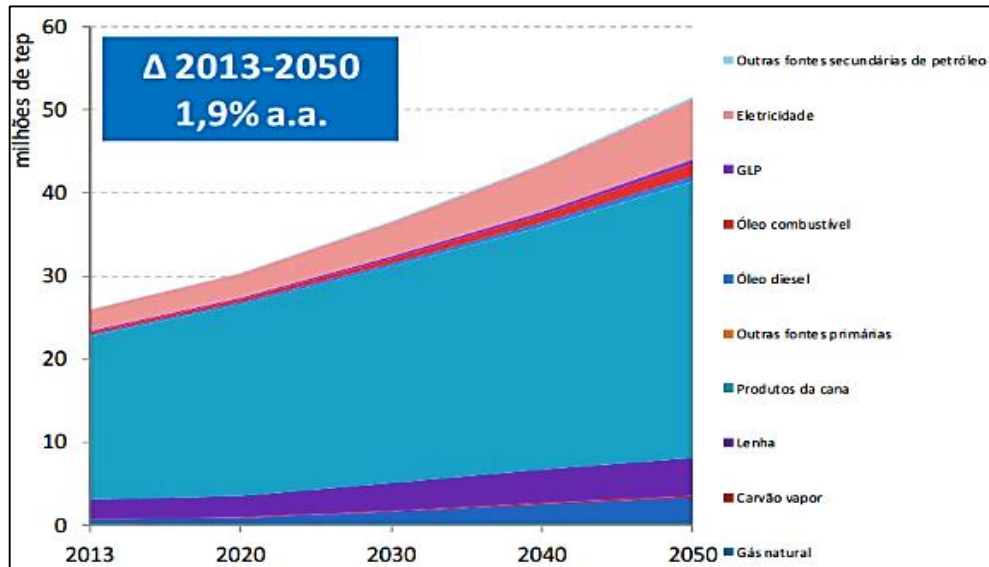
A indústria de alimentos e bebidas é a maior consumidora de energia da indústria nacional. Conforme o BEN (2015), o consumo final de energia em 2014 neste segmento foi de 22.208×10^3 tep/ano, representando 25,4% do consumo total da indústria brasileira. A distribuição deste consumo de energia por fonte está representado no Gráfico 14.

Gráfico 14: Consumo de energia por fonte na indústria de Alimentos e Bebidas em 2014



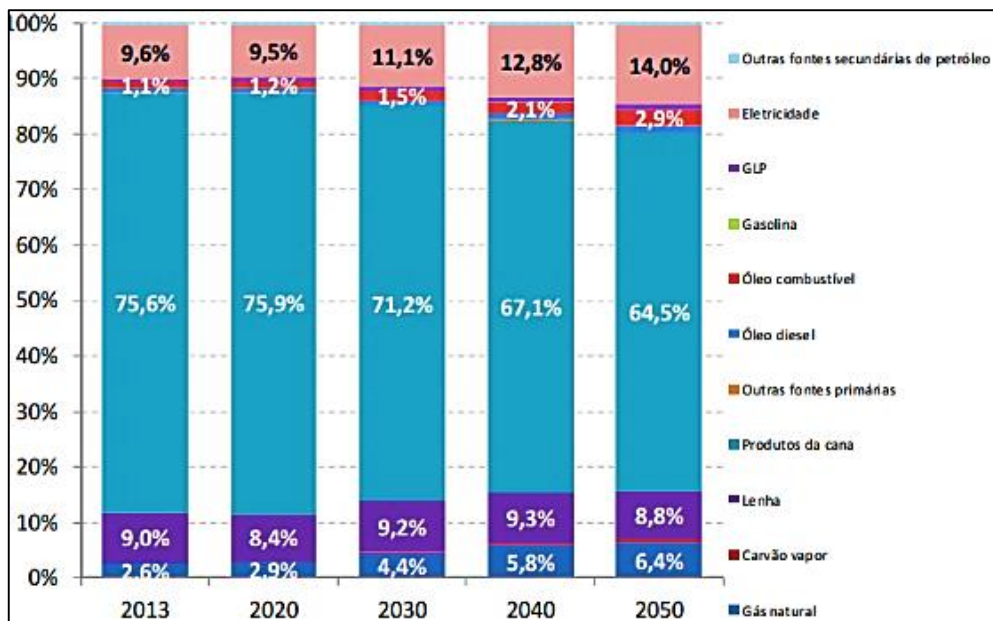
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Conforme pode ser observado no Gráfico 14, os energéticos mais utilizados pela indústria de alimentos e bebidas é o bagaço de cana, seguido pela eletricidade e a lenha, todos de origem renováveis. Embora este segmento seja o maior consumidor de energia da indústria nacional, observa-se que sua matriz energética é uma das mais limpas, pois utiliza em seus processos industriais 93,2% de fontes renováveis. A Figura 21 retrata o cenário de 2013 a 2050 da distribuição do consumo final de energia por fonte no segmento alimentos e bebidas.

Figura 21: Consumo final energético no segmento de alimentos e bebidas, por fonte (milhões de tep)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

No cenário adotado, o consumo de energia atinge 52 milhões de toneladas ao final do horizonte, com crescimento de 1,9% ao ano entre 2013 a 2050. Algumas evidências quanto ao consumo final de energia por fonte na indústria de alimentos e bebidas em porcentagens podem ser observados na Figura 22.

Figura 22: Consumo final energético no segmento de alimentos e bebidas, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

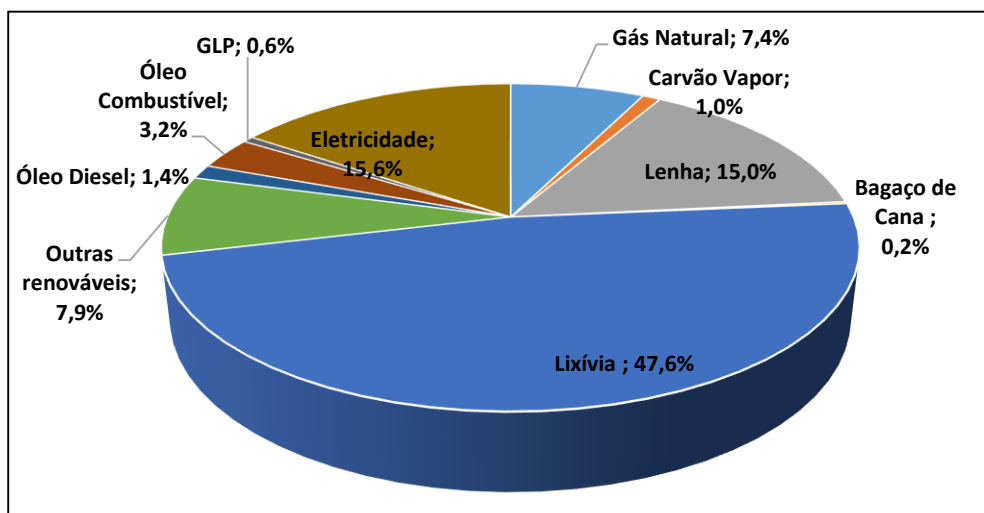
Verifica-se ainda, na Figura 22, que o bagaço de cana, eletricidade e a lenha são os energéticos com maior participação. Os produtos da cana saem dos atuais 76% e chegam a menos de 65% do consumo final energético dos alimentos e bebidas em 2050. Há também outros aspectos a serem considerados, como a penetração adicional da eletricidade ao longo do horizonte em análise, que aumenta sua participação de 9,6% para 14,0% e o gás natural que chega a 6,4% em 2050, partindo de 2,6% em 2013.

Entretanto, ao longo do cenário apresentado, este segmento não desperta grandes preocupações com as questões ambientais, em especial com as emissões de dióxido de carbono. Há de ser considerado que a matriz energética da indústria de alimentos e bebidas é uma das mais limpas.

4.3.1.9 Segmento de Papel e Celulose

A indústria de Papel e Celulose é a terceira maior consumidora de energéticos da indústria nacional. De acordo com o Balanço Energético Nacional (2015), o consumo final de energia em 2014 foi de 11423×10^3 tep/ano, representando 13,1% do consumo total da indústria brasileira. O consumo final de energia por fonte, neste segmento da indústria, está representado no Gráfico 15.

Gráfico 15: Consumo de energia por fonte na indústria de Papel e Celulose em 2014

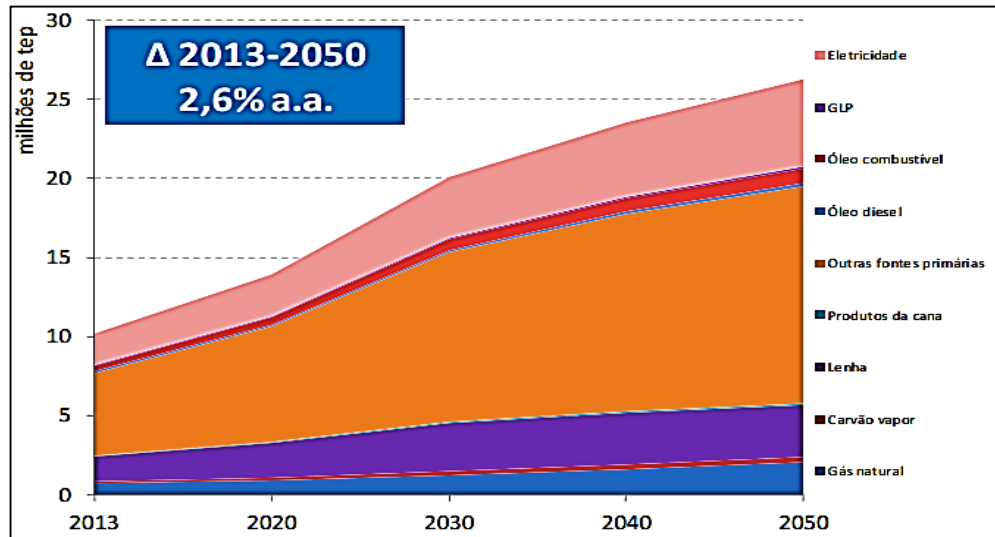


Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Dentre os energéticos mais utilizados pela indústria de papel e celulose, destacam-se a lixívia, eletricidade e lenha, todos de origem renováveis. As fontes renováveis possuem uma representatividade de 86,4% em relação ao total dos combustíveis necessários nos processos da

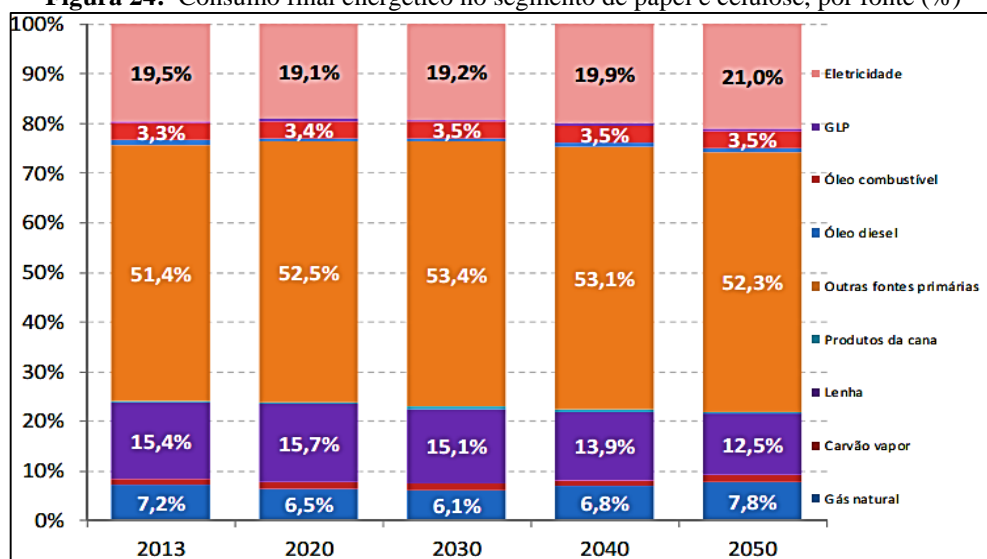
indústria de papel e celulose brasileira. A Figura 23 apresenta uma evolução de 2013 a 2050 do consumo final de energia por fonte.

Figura 23: Consumo final energético no segmento de papel e celulose, por fonte (milhões de tep)



O consumo de energia do segmento de papel e celulose acompanha o forte crescimento de sua atividade, portanto, entre 2013 a 2050, o consumo final energético aumenta à taxa de 2,6% anuais, saindo de 10,5 milhões de toneladas em 2013 e atingindo ao final do horizonte 27 milhões de toneladas. O consumo final de energia por fonte, na indústria de papel e celulose, em porcentagens podem ser observados na Figura 24.

Figura 24: Consumo final energético no segmento de papel e celulose, por fonte (%)



A principal fonte energética deste segmento industrial é a lixívia, representada na Figura 24 pela maior parte das outras fontes primárias, subproduto do processo de produção da

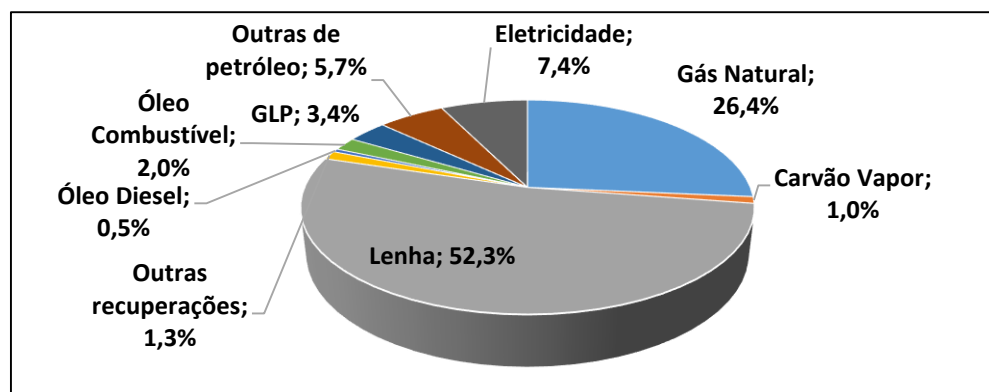
celulose. Vale ressaltar que outras fontes primárias, é responsável por mais de 50% do consumo energético do segmento, ao longo do cenário de 2013 a 2050. Saltando de 51,4% para 52,3% ao final do período. Ainda é possível observar que a eletricidade apresenta ligeiro ganho de representatividade na matriz energética da indústria de papel e celulose, variando de 19,5% a 21,0% no final do período. O gás natural também expande a sua participação no período em estudo, chegando a quase 8% do consumo final energético, com o equivalente a 6 milhões de m³ por dia em 2050.

Conclui-se, então, que o segmento de papel e celulose apesar de estar entre os três maiores consumidores de energéticos da indústria nacional, não retrata no atual e eventual cenário grandes preocupações com a poluição oriunda deste segmento. O estudo realizado pela empresa de pesquisa energética, de 2013 a 2050, nos evidencia que os combustíveis utilizados na produção de papel e celulose são mais de 80% de origem renováveis, o que nos remete uma menor preocupação com as questões ambientais, em especial, com as emissões de dióxido de carbono.

4.3.1.10 Segmento de Cerâmica

Em conformidade com o BEN (2015), a indústria de cerâmica obteve um consumo final de energia em 2014 de 5079 x 10³ tep/ano, correspondendo a 5,8% do consumo total da indústria brasileira. O consumo final de energia por fonte, neste segmento da indústria, pode ser visto no Gráfico 16.

Gráfico 16: Consumo de energia por fonte na indústria de Cerâmica em 2014

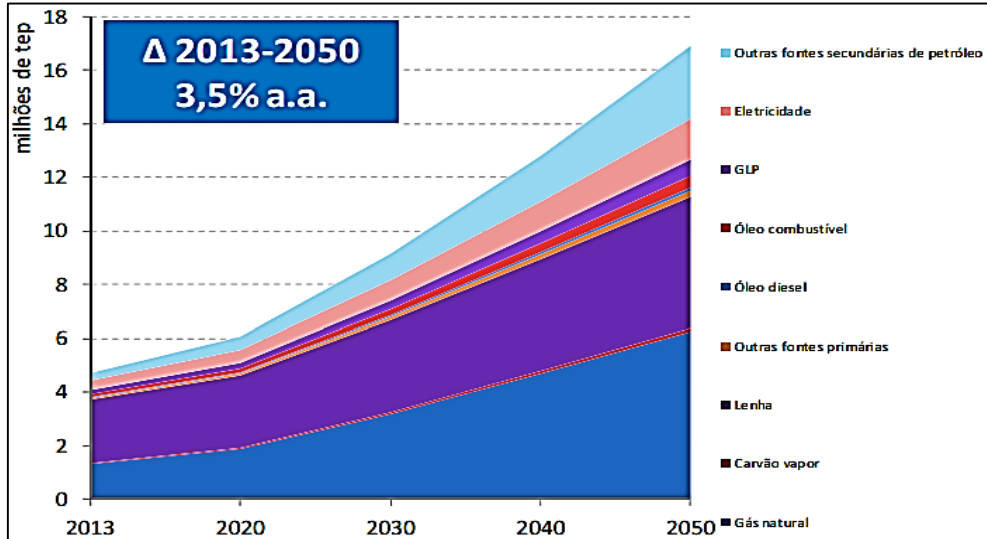


Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

A lenha é o energético mais utilizado dentro da indústria de cerâmica, com 52,3% do total de energéticos consumidos pelo segmento, sendo este de origem renovável. As fontes

renováveis de energia respondem por 59,7%, da matriz energética da indústria de cerâmica. No cenário de 2013 a 2050, o consumo final de energia por fonte, neste segmento será apresentado na Figura 25.

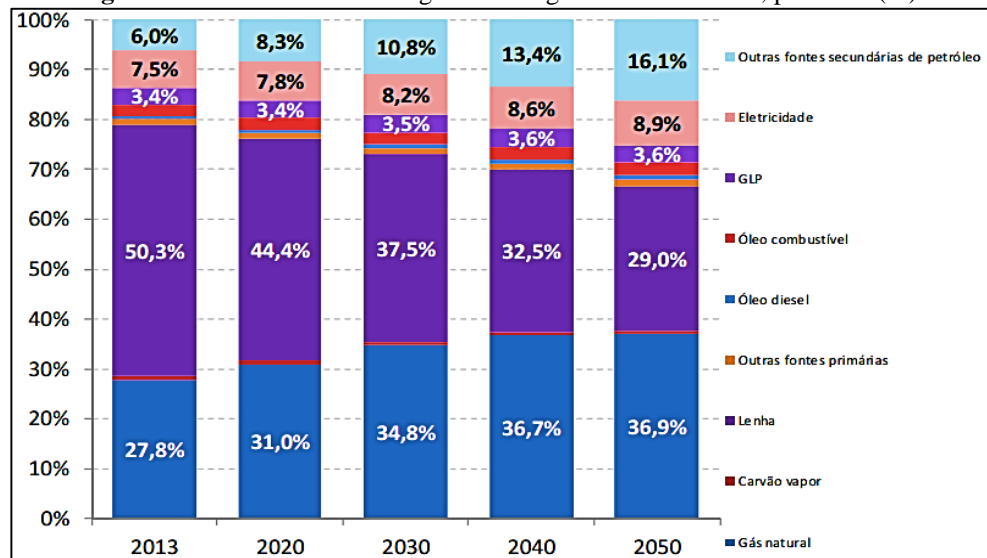
Figura 25: Consumo final energético no segmento de cerâmica, por fonte (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

Na matriz de consumo final energético da indústria cerâmica, destacam-se a lenha e o gás natural, todas com a finalidade de aquecimento direto. No cenário para o horizonte de 2050, como mostra a Figura 25, o consumo final energético variou à taxa de 3,5% anuais, saindo de 4,4 milhões de toneladas em 2013 e atingindo 17 milhões de toneladas em 2050. O cenário do consumo final de energia por fonte, na indústria cerâmica, em porcentagens pode ser observado na Figura 26.

Figura 26: Consumo final energético no segmento de cerâmica, por fonte (%)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

Observou-se na Figura 26 que alguns energéticos sofrerão alterações ao longo do cenário apresentado. O gás natural, por exemplo, apresentará um incremento de 9,1%, variando de 27,8% em 2013 para 36,9% em 2050. As outras fontes secundárias de petróleo, inclusa o coque, terá um incremento de 10,1%, variando o consumo de 6% em 2013 para 16,1% em 2050. E por fim, a lenha, sofrerá uma queda de 21,3%, participando com 50,3% da matriz energética em 2013 e decaindo para 29,0% em 2050.

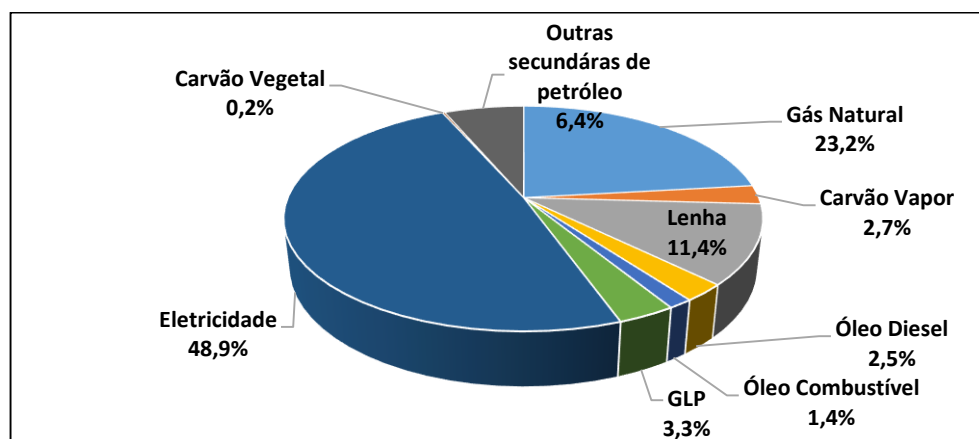
Pode-se concluir que este segmento da indústria não requer uma preocupação imediata com as emissões de dióxido de carbono, tal fato também pode ser visualizado nas figuras 25 e 26, que apresentam um cenário até 2050 dos energéticos de maior consumo pelo segmento. Conclui-se que este segmento da indústria permanecerá utilizando em sua matriz energética mais fontes de energia limpa.

4.3.1.11 Segmento em outras indústrias

O agrupamento industrial denominado “outras indústrias” compõe-se por um mix de segmentos industriais, bastante pulverizadas e diversos quanto aos processos produtivos utilizados. As outras indústrias são, em média, menos energointensivas que a indústria brasileira como um todo, atualmente com intensidades energéticas em torno de 0,02 e 0,12 tep, respectivamente (EPE, 2014).

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015, as outras indústrias apresentaram um consumo final de energia em 2014 de 7.892×10^3 tep/ano, correspondendo a 9,0% do consumo total da indústria brasileira. O consumo final de energia por fonte, no segmento das outras indústrias, está representado no Gráfico 17.

Gráfico 17: Consumo de energia por fonte em outras indústrias em 2014

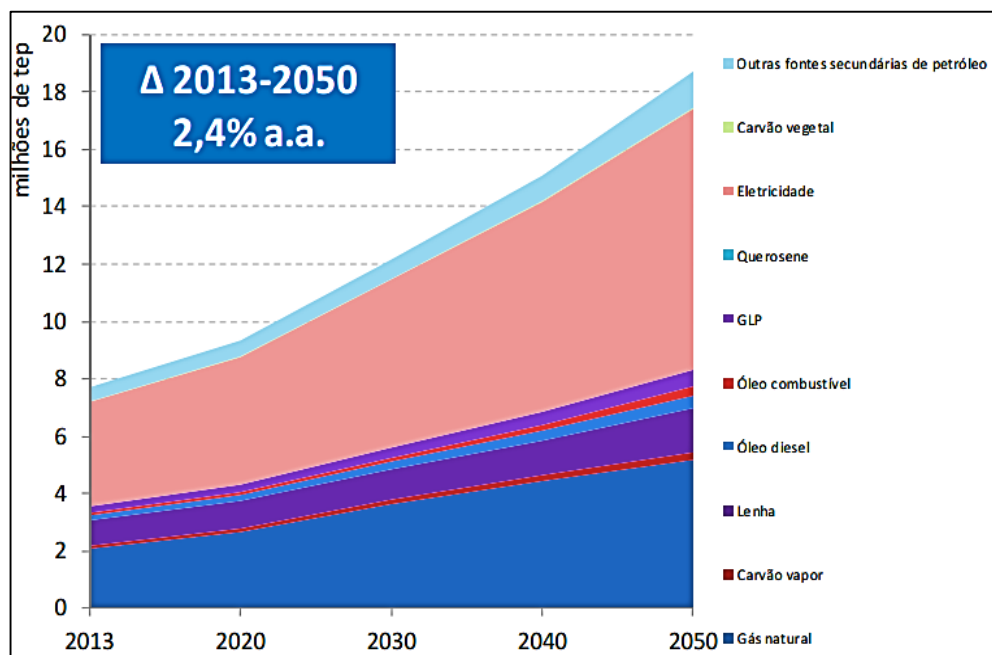


Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Verifica-se que as fontes de energia mais consumidas em outras indústrias, em 2014, são a eletricidade com o consumo de 3.863×10^3 tep/ano, equivalente a 48,9%, gás natural consumindo 1832×10^3 tep/ano, com 23,2% e a lenha com o consumo de 898×10^3 tep/ano, correspondendo a 11,4%. A eletricidade e a lenha são combustíveis de origem renováveis, e contribuem com 60,3% neste segmento.

No cenário de 2013 a 2050, o consumo final de energia por fonte, neste segmento será apresentado na Figura 27.

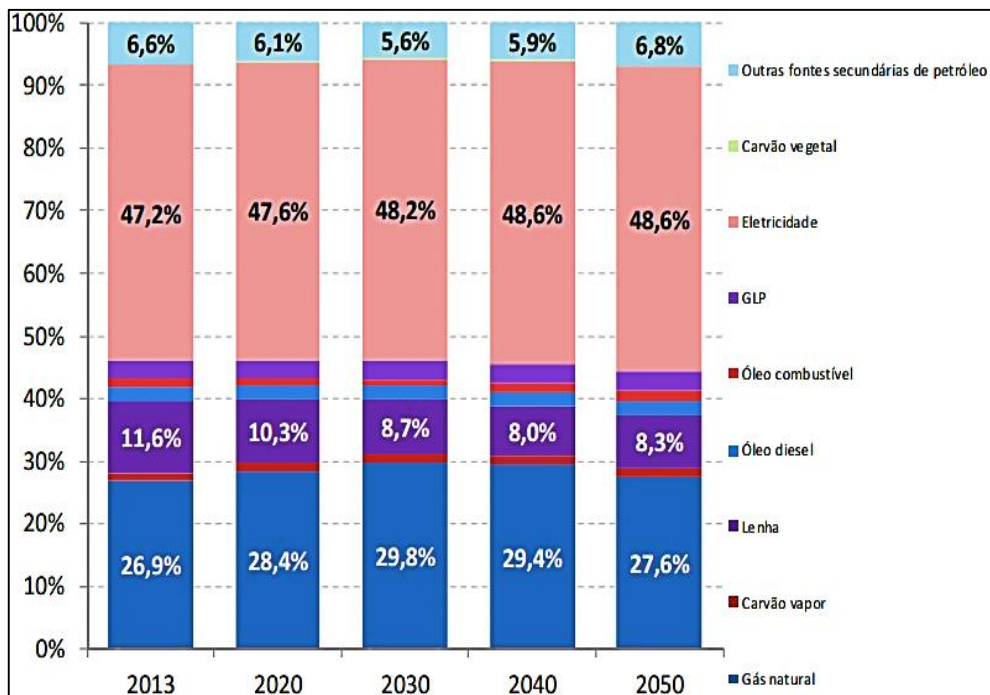
Figura 27: Consumo final energético no segmento de outras indústrias, por fonte (milhões de tep)



Fonte: Elaboração EPE (2014)

No cenário para o horizonte de 2050, como mostra a Figura 27, o consumo final energético pode atingir 19 milhões de toneladas, quase 150% superior ao nível atual, com incremento médio de 2,4% ao ano.

O consumo final de energia por fonte, em outras indústrias, em porcentagens pode ser observado na Figura 28.

Figura 28:Consumo final energético no segmento de outras indústrias, por fonte (%)

Fonte: Elaboração EPE (2014)

Neste segmento denominado “outras indústrias” o consumo final energético é destacado pelo uso da eletricidade, com pouco menos da metade de seu consumo final energético. Para o horizonte de 2050, espera-se que tal importância seja pouco alterada, chegando à participação de 48,6%, com o equivalente a 106 TWh, contra os 42 TWh em 2013. Este setor representa, atualmente, cerca de 20% do consumo de eletricidade da indústria brasileira (EPE,2014).

Outros energéticos que aparecem em destaque no período de 2013 a 2050, conforme pode ser visualizado na Figura 27, são o gás natural e a lenha.

Portanto, pode-se concluir que o segmento denominado “outras indústrias” não apresenta preocupações imediatas com as questões climáticas, em especial a emissão de dióxido de carbono, por sua matriz energética ser constituída mais de 50% por fontes renováveis de energia.

5 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO BRASIL E NO MUNDO E A CONTRIBUIÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

O presente capítulo discorre sobre os principais gases de efeito estufa (GEE) e mensura, a partir de dados do balanço energético nacional 2015 e do uso da metodologia *top-down* do IPCC, o nível de emissões de dióxido de carbono de todos os setores que compõe a matriz energética nacional no ano de 2014, posicionando o Brasil no cenário mundial. Neste capítulo, também será apresentado a quantificação de emissões de CO₂ de cada segmento da indústria brasileira no ano de 2014, a fim de identificar os maiores emissores.

É importante destacar ainda que o presente capítulo apresenta dados divulgados na literatura e resultados gerados com o uso da metodologia, estabelecendo um paralelo das informações encontradas com as informações obtidas na pesquisa.

5.1 PRINCIPAIS GASES DE EFEITO ESTUFA

Na atualidade, umas das maiores preocupações é com o aumento da temperatura da Terra, ocasionado pelo nível de emissão de gases poluentes que determinam o efeito estufa, fenômeno conhecido como aquecimento global. Tal efeito tem sido visto como um dos principais riscos ambientais que o nosso planeta enfrenta, estando intimamente associado à elevação do consumo de energia.

Esses gases dificultam ou impedem a dispersão para o espaço da radiação solar que é refletida pela Terra. Grande parte destes gases é produzido pelos seres humanos em diversas atividades, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, atividades industriais e queimadas de florestas. Entre os exemplos mais conhecidos de gases de efeito estufa (GEEs) temos: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Segundo os dados compilados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2013) envolvendo os anos de 1990 a 2013, mostram que esses gases, que permanecem na atmosfera por muitos anos, contribuíram para um aumento de 34% no aquecimento global.

A estabilização climática só pode ser obtida com a estabilização da concentração desses gases de efeito estufa dentro de um nível de segurança a ser determinado, considerando, ainda, a incerteza científica que envolve o fenômeno (IPCC,1995). Tomando isso como premissa, um nível de emissão antropogênica de CO₂ acima do nível de segurança seria incompatível com o crescimento sustentável, sendo este definido como aquele que seria suficiente para permitir aos ecossistemas se adaptarem naturalmente a mudanças no clima,

garantir a segurança alimentar e, ainda, garantir o desenvolvimento econômico das nações (UNFCCC, 1992). Assim, o padrão atual das emissões de gases de efeito estufa, tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento, pode comprometer o ritmo da atividade econômica mundial na medida em que alterações no sistema climático, que serão percebidas num horizonte de tempo bem distante, poderão causar grandes impactos sobre a economia em decorrência da adaptação do meio ambiente diante do aquecimento do clima.

As emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO₂), principal gás causador do fenômeno do efeito estufa, são basicamente determinadas pela queima de combustíveis fósseis: carvão, petróleo, gás natural etc. Por outro lado, o nível nas emissões de CO₂ também está intimamente relacionado ao nível da atividade econômica. O foco deste trabalho é avaliar as emissões de CO₂ pela uso de combustíveis fósseis na matriz energética da indústria brasileira. Para tanto, será descrito um panorama das emissões desse principal poluente a nível nacional e internacional.

5.2 CENÁRIO INTERNACIONAL E NACIONAL DE EMISSÕES DE GEE

Entre 2011 e 2012, a taxa de acúmulo de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera teve o crescimento mais rápido em um ano desde 1984. A concentração de gases do efeito estufa na atmosfera atingiu níveis recordes em 2013, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), as emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) não cresceram em 2014. De acordo com a entidade, foi a primeira vez em 44 anos que as taxas de emissões permaneceram estáveis sem uma recessão econômica mundial - descontados anos de crise econômica global, como 1980 e 2009. Em 2014, foram emitidos 32,3 bilhões de toneladas de gás carbônico no planeta, exatamente a mesma quantidade registrada em 2013. A AIE atribui a estagnação aos esforços mundiais de mitigação de emissões, especialmente na China e em países como Estados Unidos e Canadá. Na Europa Ocidental, houve mudanças nos padrões de consumo de energia, destacou a AIE.

Ainda em 2014, segundo a AIE, a China aumentou consideravelmente a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, como a energia hidrelétrica, solar e eólica, diminuindo a queima de carvão. Em países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), foram feitos esforços recentes para promover o crescimento sustentável, como o aprimoramento da eficiência energética e investimentos em fontes de energia renovável. A AIE relata ainda que nos últimos cinco anos, nações que integram a OCDE registraram

crescimento econômico de cerca de 7%, enquanto suas emissões diminuiram 4%. No mesmo período, a taxa de crescimento do consumo de energia na China caiu de 10% para 3% ao ano.

Niu *et al* (2011) concluiu em seu estudo que 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.

No Brasil, os esforços de redução de emissões não são diferentes. Podendo-se destacar o compromisso voluntário, na Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas realizada em 2009 em Copenhague (COP 15) para reduções de GEE na atmosfera e ao atingir as metas estabelecidas.

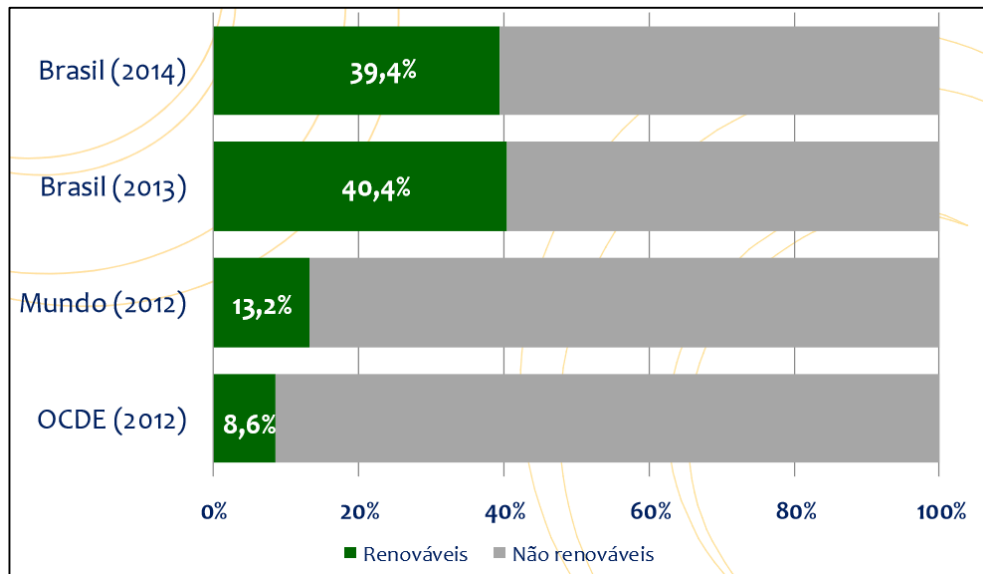
O Brasil confirmou no Acordo de Copenhague e na Conferência das Partes (COP 16) em Cancun, as suas metas nacionais voluntárias de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Estas metas foram definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), objeto da Lei nº 12.187/2009. A PNMC determina princípios, diretrizes e instrumentos para a consecução das metas nacionais independentemente da evolução dos acordos globais de clima. Para tal, utilizam-se planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas visando à consolidação de uma economia de baixo consumo de carbono.

Em dezembro de 2010, foi assinado o decreto regulamentador da PNMC que desagrega as projeções das emissões para 2020 por setores da seguinte forma: i) mudança de uso da terra: 1.404 milhões de tCO₂eq (sendo 68% na Amazônia, 23% no Cerrado e os 9% restantes, na Mata Atlântica, na Caatinga e no Pantanal); ii) energia: 868 milhões de tCO₂eq; iii) agropecuária: 730 milhões de tCO₂eq; e iv) processos industriais e tratamento de resíduos: 234 milhões de tCO₂eq (SEROA DA MOTTA, 2011).

De acordo com a 2ª edição das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2014), o Brasil reduziu em quase metade as emissões de dióxido de carbono (CO₂) entre 2005 e 2012, passando de 2,04 bilhões de toneladas para 1,20 bilhão, respectivamente. Segundo os dados divulgados pelo IBGE em junho de 2015, o Brasil reduziu em 52,3% a emissão de dióxido de carbono. A importante redução ocorreu entre os anos de 2005 e 2010. O aumento do uso de fontes de energia renováveis, além da diminuição do desmatamento (principalmente das queimadas) são as principais causas deste dado ambiental positivo.

A participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira em 2014 manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequena redução devido à menor oferta de energia hidráulica (BEN, 2015), o que justifica as metas alcançadas pelo Brasil, como mostra a Figura 29.

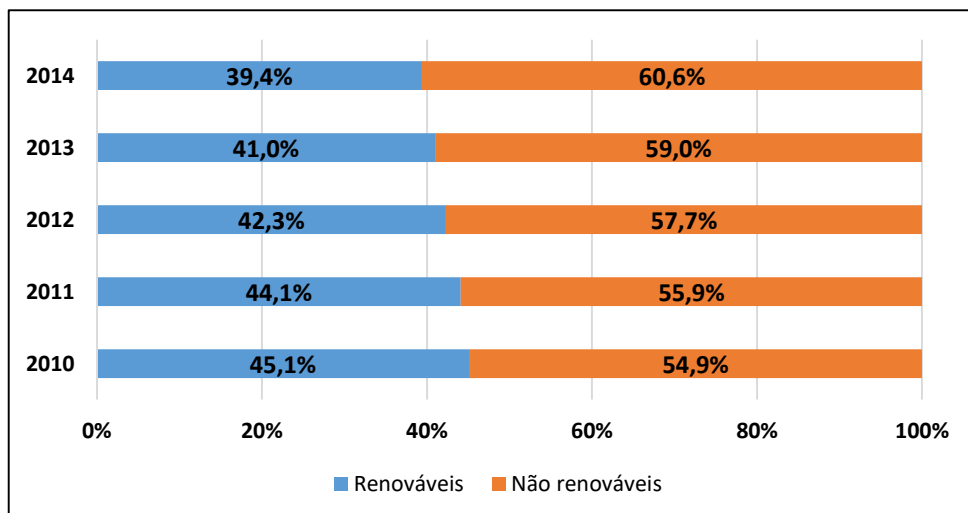
Figura 29: Comparação do uso de fontes renováveis entre o Brasil e o Mundo (%)



Fonte: BEN/EPE (2015)

O Brasil apresenta-se em destaque no uso de fontes renováveis de energia quando comparado com os demais países, como mostra a Figura 29. Porém, pode-se observar que a participação dos renováveis na matriz energética do Brasil, nos últimos 5 anos vem diminuindo, o que torna uma preocupação eminente, como mostra o Gráfico 18.

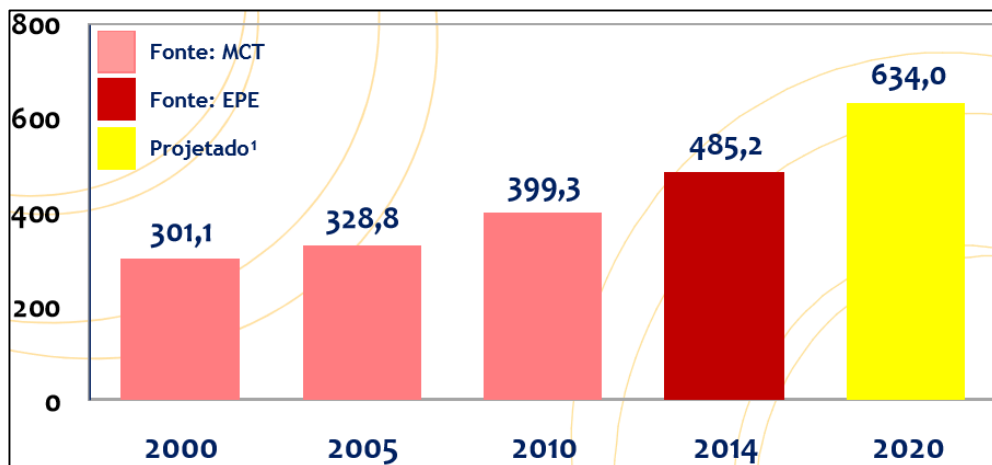
Gráfico 18: Participação dos renováveis na Matriz Energética no Brasil entre 2010 e 2014



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Pode ser observado no Gráfico 18, o crescimento do uso das fontes não renováveis na matriz energética brasileira, e portanto, um crescimento nas emissões de CO₂. O Balanço Energético Nacional 2015, divulgou a evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂-eq ao longo do cenário de 2000 a 2020, como podemos verificar na Figura 30.

Figura 30: Evolução das emissões de CO₂ no Brasil de 2000 a 2020



Fonte: MCT, EPE, baseado na Comunicação Nacional do Brasil na COP-15, Lei 12.187/09 e ¹Decreto 7.390/10.BEN (2015)

A taxa de crescimento anual dessas emissões são evidenciadas na Figura 30, onde pode-se obter um crescimento de 3,5% de 2000 a 2014, e o projeto até 2020 é uma taxa de 3,8%. O que nos leva a pensar em medidas que possam ser utilizadas para cumprir as reduções assumidas pelo Brasil, e que lhe mantenham em vantagens frente aos demais países quanto esta problemática.

Segundo a contribuição do GT3 do IPCC ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mitigação das Mudanças Climáticas - RAN (2014), no caso de não serem implantadas políticas adicionais para restringir as emissões, calcula-se uma expansão das emissões globais de GEE de 25% a 90% em 2030. Nessa hipótese, as liberações de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis cresceriam de 45% a 110% até lá. A maior parte desse aumento entra na conta das nações em desenvolvimento.

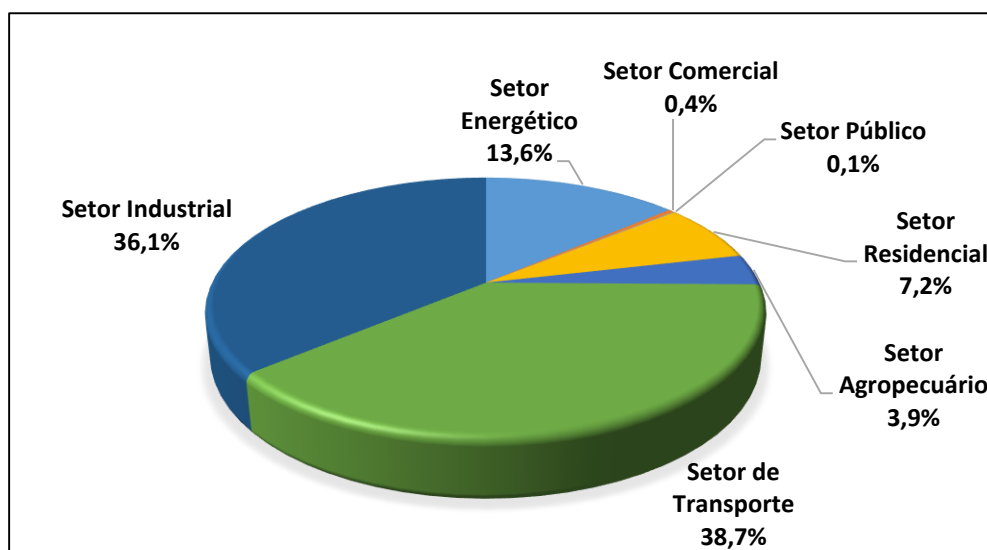
Em estudos realizados por La Rovere *et al.* (2011), há uma perspectiva de retomada do crescimento das emissões de GEE do país no longo prazo, mesmo com a implantação das ações de mitigação previstas para cumprir os objetivos voluntários de 2020. Verifica-se assim que o país caminha para uma situação, no longo prazo, análoga à do resto do mundo, pois com

raras exceções, as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis são as mais importantes em todos os países, sendo responsáveis pela maior parte da intensificação do efeito estufa. Com efeito, a anomalia da situação brasileira até recentemente era devida à excessiva contribuição do desmatamento para as emissões totais do país. Caso, como se espera, estas emissões possam ser controladas no futuro, o desafio será a construção de um estilo de desenvolvimento sustentável, com um perfil menos intensivo no uso de energia fóssil: uma sociedade de baixa emissão de carbono (La Rovere et al., 2013). Por outro lado, o Brasil se encontra em forte posição para assumir uma liderança na promoção de um desenvolvimento social e econômico de baixo carbono, devido à sua grande riqueza em recursos energéticos renováveis, permitindo ações de mitigação adicionais a serem adotadas depois de 2020 (ver Gouvello *et al.*, 2010 e La Rovere *et al.*, 2011)

Ao contrário do que ocorre na maior parte do mundo, o setor energético, responsável pela produção primária de energia, não é o que mais emite CO₂. Esse ônus recai basicamente sobre o setor industrial e de transportes, devido ao fato de no Brasil a produção de eletricidade ser fundamentalmente de base hídrica. Portanto, um estudo mais aprofundado desses setores quanto aos efeitos que induzem ao aumento ou à diminuição da emissão de CO₂ é fundamental no Brasil, de modo a dar subsídio à questão da mudança climática.

A partir dos dados divulgados no BEN 2015 e o uso da metodologia *top-down* do IPCC, foi possível mensurar o nível de emissão de dióxido de carbono pelo Brasil e em seus respectivos setores no ano de 2014. O Gráfico 19, elucida a emissão de CO₂ nos diversos setores brasileiros, em relação ao total emitido pelo Brasil.

Gráfico 19: Percentual de emissão de CO₂ por setor no Brasil



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

As emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 666,0 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq) em 2014. Desse total, o setor de transporte é o que mais emite, sendo responsável por 38,7%, correspondente a 257,6 Mt CO₂-eq, o segundo maior emissor é o setor industrial com 36,1%, equivalente a 240,4 Mt CO₂-eq, seguido pelo setor energético com 13,6% da emissão total, correspondendo a 90,7 Mt CO₂-eq. Vale ressaltar que o maior consumidor de energia não necessariamente seja o maior emissor de CO₂. O nível de emissão também depende dos energéticos consumidos e, não somente, do volume de energia consumido em tep. Contudo, pode-se destacar ainda no gráfico 18 que os maiores emissores de dióxido de carbono estão entre os maiores consumidores de energia, como já foi mostrado no capítulo anterior.

O que tem sido observado, e que já foi mencionado neste trabalho, é a constante liderança do setor industrial brasileiro no consumo de energia, bem como a intensificação pelo uso de combustíveis fósseis.

Como o cerne desta pesquisa é o setor industrial brasileiro, será realizado a quantificação de emissão de dióxido de carbono em cada segmento da indústria, a fim de identificar os maiores emissores de CO₂ e realizar um estudo da sua estrutura de consumo de energia.

5.3 EMISSÕES DE CO₂ PELO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO E DE SEUS SEGMENTOS

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2015), a estratificação do consumo de energia no setor industrial brasileiro demonstra que grande parte dos recursos energéticos utilizados provêm de recursos renováveis, com a participação significativa do bagaço de cana e da lenha como recursos energéticos sustentáveis, porém, como já mencionado, as fontes fósseis de energia ainda apresentam uma participação significativa no consumo industrial.

Como já observado, no Gráfico 19, o setor industrial se encontra como o segundo maior emissor de CO₂ com 36,1% do total emitido pelos setores que compõe a matriz energética do Brasil, equivalente a 240,4 Mt CO₂-eq, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Quantificação de Emissão de CO₂ no setor industrial em 2014

Energéticos	Consumo (10³ tep)	%	Conversão para TJ	Conteúdo de Carbono (tC)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta	Emissão de CO₂
Gás Natural	9.708	11,1	395.070	6.044.571	6.014.347,7	22.052.608,3
Carvão Mineral	3.821	4,4	164.135	4.398.830	4.310.853,4	15.806.462,6
Lenha	7.785	8,9	334.414	9.998.967	9.798.988,1	35.929.623,1
Bagaço de Cana	16.146	18,5	693.570	20.737.743	20.322.988,1	74.517.623,0
Outras renováveis	6.554	7,5	-	-	-	-
Outras não renováveis	313	0,4	-	-	-	-
Óleo Diesel	1.208	1,4	51.891	1.048.199	1.037.716,8	3.804.961,6
Óleo Combustível	2.585	3,0	111.042	2.342.979	2.319.549,0	8.505.012,9
GLP	1.121	1,3	45.619	784.654	776.807,7	2.848.294,8
Querosene	2	0,0	86	1.684	1.667,0	6.112,5
Gás de Coqueira	1.242	1,4	50.544	1.354.567	1.341.021,8	4.917.079,9
Coque de Carvão Mineral	8.018	9,2	344.422	9.230.521	9.138.215,4	33.506.789,8
Eletricidade	17.703	20,2	-	0	0	0
Carvão vegetal	3.386	3,9	145.450	4.348.941	4.327.196,1	15.866.385,6
Outros secundários de Petróleo	7.818	8,9	335.831	6.179.294	6.117.500,8	22.430.836,2
Outras secundários - Alcatrão	92	0,1	3.952	72.716	71.261,8	261.293,4
Total	87.502	99,9				240.453.083,8

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

É possível identificar, na Tabela 5, quais os energéticos são mais consumidos e o nível de emissão de cada um deles. Destaca-se, entre os energéticos de origem não renovável, que apresenta maior consumo e maior emissão de dióxido de carbono o coque de carvão mineral, cuja a emissão atingiu 33.506.789,8 Mt CO₂-eq no ano de 2014.

A relevância do setor industrial brasileiro nas emissões nacionais de gases de efeito estufa pode ser compreendida por seu porte, tanto na economia quanto no consumo energético brasileiro, como analisado nos dados acima. Vários estudos reforçam a representatividade do setor industrial brasileiro nas emissões de gás carbônico na atmosfera devido ao consumo energético, tanto no médio quanto no longo prazo, conforme descrito a seguir.

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), estima-se que o setor industrial brasileiro responderá pela emissão de 290 milhões de toneladas CO₂ em 2030, o mesmo que cerca de 30% do total projetado para aquele ano.

Também para 2030, Gouvello et al. (2010) indicaram emissões de 292 milhões de toneladas de CO₂, ao adotarem premissas de crescimento compatíveis com o PNE 2030.

Henriques Jr. (2010) estimou que as emissões totais de CO₂ devidas ao consumo de energia no setor industrial brasileiro somarão aproximadamente 329 milhões de toneladas de CO₂ em 2030, em um cenário de crescimento industrial anual de 3,7% e de 4,1% ao ano para o Produto Interno Bruto (PIB) do País.

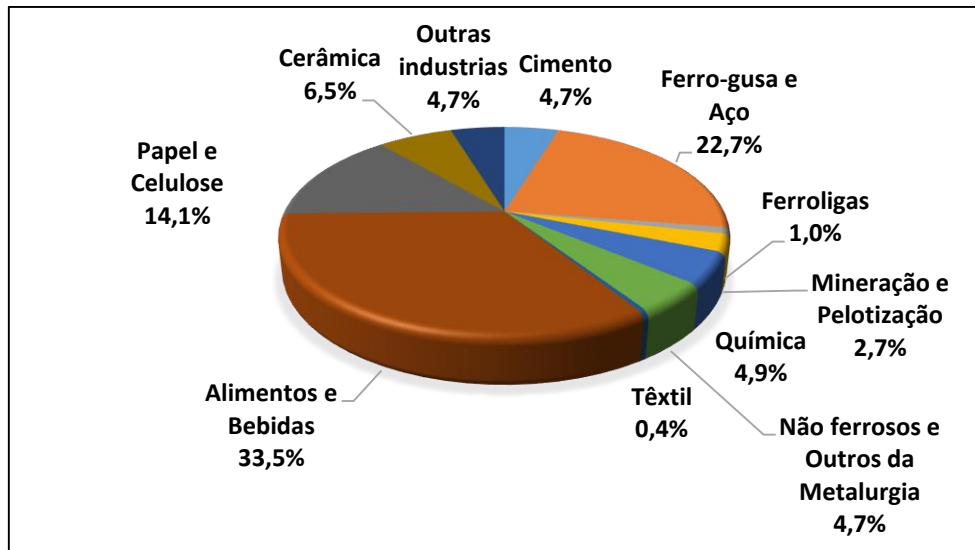
Nos estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) mais recentes há um cenário de crescimento econômico médio de 4,7% a.a. entre 2013 a 2022, estima-se que em 2020, o setor industrial estará emitindo o equivalente a 149 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ (EPE, 2013).

Adicionalmente, é importante destacar que através da lei n° 12.187/2009 (Brasil, 2009c), o governo federal estabeleceu metas voluntárias para as emissões brasileiras de GEEs, correspondentes ao abatimento de 36,1% a 38,9 % em relação ao emitido em 2009 pelo País.

Ademais, cumpre destacar que esse decreto estabeleceu o PDE como plano setorial de mitigação de emissões de GEEs para o setor de energia, além de ter instituído a necessidade de elaboração de um plano mitigatório específico para o setor siderúrgico. Com base na lei n° 12.187/2009, decreto n° 7.390/2010 e considerando margem de 20%, de acordo com o Comunicado Nacional do Brasil na COP-15, o abatimento total de emissões devido ao setor de energia pode variar entre 188-234 milhões de toneladas de CO₂, o que implica em emissões totais variando entre 634-680 milhões de toneladas de CO₂ em 2020 (EPE, 2013).

Para que haja redução do nível de emissão desse poluente na atmosfera, são propostas medidas de mitigação nas empresas do setor industrial brasileiro por meio da execução de projetos de eficiência energética e substituição de energéticos para ampliação do uso de fontes renováveis nos processos produtivos. Para tanto, se fez necessário aplicar a metodologia *top-down* do IPCC, para mensurar o nível de emissão de dióxido de carbono de cada segmento da indústria.

As emissões de dióxido de carbono em cada segmento do setor industrial brasileiro podem ser visualizadas no Gráfico 20.

Gráfico 20: Percentual de emissão de CO₂ em cada segmento do setor industrial Brasileiro

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Verificou-se a partir do Gráfico 20, que os maiores consumidores de energia também são os maiores emissores de dióxido de carbono. Sendo, portanto, o maior emissor o setor de alimentos e bebidas, com 33,5% do total de emissão pelo setor, correspondendo 80,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq) em 2014, seguido pelos setores de ferro-gusa e aço, correspondendo a 22,7% das emissões o equivalente a 54,6 Mt CO₂-eq e o setor de papel e celulose, responsável pela emissão de 14,2% do total emitido pelo setor industrial, equivalente a 34,1 Mt CO₂-eq.

Observou-se ainda que, ao longo dos últimos 5 anos a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira vem diminuindo, enquanto que o uso dos combustíveis fósseis vem sendo intensificado. O mesmo fato pode ser observado com a participação dos renováveis na indústria brasileira (BEN 2015). É importante lembrar que os combustíveis fósseis poderão acabar em poucos anos, e que Segundo a Agência Nacional de Petróleo (2014), se manter o nível atual de produção e de reservas de petróleo, o mesmo terá vida útil de, aproximadamente, 35 anos.

Cabe enfatizar que muitas das atividades industriais são dependentes dos combustíveis fósseis, e estes, são fontes de energia esgotáveis e altamente poluentes, portanto é indispensável investimentos em fontes renováveis de energia, pois, dessa forma, os consumidores não correrão tantos riscos de interrupção de suas atividades por falta de insumos energéticos e reduzirão prejuízos oriundos de autuações pelos órgãos de controle.

As fontes renováveis de energia têm sido a solução escolhida por diversos países, tanto para minimizar os problemas ambientais como para aumentar a segurança no suprimento de

energia, uma vez que elas podem, em muitos casos, substituir as fontes convencionais de origem fóssil. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2006), a entrada de novas fontes renováveis evitará a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano.

Neste sentido, apesar do estudo de Simões e La Rovere (2008), que analisaram o Brasil do ponto de vista da oferta de energia renovável, concluir que a matriz energética do país é, particularmente, limpa, sendo que a oferta interna de energia renovável, do país, é de 45,4% (BEN, 2011), 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.

Conclui-se previamente, neste capítulo, que o setor industrial brasileiro apresenta uma grande contribuição no consumo de energia e na emissão de gases de efeito estufa, em especial de dióxido de carbono. Sendo, portanto, um setor com grande potencial de redução de emissões. Vislumbra-se, ainda, que os segmentos da indústria que mais influenciam as mudanças climáticas, através das emissões de gases poluentes, com a utilização de combustíveis fósseis em seus processos são: alimentos e bebidas, ferro-gusa e aço e papel e celulose.

Neste contexto, de acordo com Kolk e Pinkse (2004), questões relacionadas à mudança do clima têm atraído, cada vez mais, a atenção das organizações nas últimas décadas. Estes 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.

6 MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA

A abundância de recursos naturais faz do Brasil um ator essencial na liderança do planeta no caminho do desenvolvimento sustentável. Matriz energética limpa, cobertura florestal correspondente a 60% do território nacional e uma imensa biodiversidade são ativos que, se bem utilizados, constituem inegáveis vantagens comparativas em um mundo que precisa incorporar bilhões de pessoas à sociedade de consumo. Para a indústria brasileira, esses ativos apresentam inúmeras oportunidades e importantes desafios (CNI, 2012).

Alguns ativos do Brasil:

- quase metade da oferta energética vem de fontes renováveis;
- área florestal correspondente a 60% do território;
- a maior área de floresta tropical do mundo e a segunda maior extensão de florestas do planeta;
- o maior estoque de carbono do mundo armazenado na biomassa florestal;
- 15% do número de espécies conhecidas pela ciência e cerca de 30% das florestas tropicais no mundo; e
- aproximadamente 12% da disponibilidade água superficial do planeta.

A indústria brasileira, consciente de que sustentabilidade se constrói com competitividade, responsabilidade e inovação, vislumbra as oportunidades que surgem nessa nova economia. O uso responsável dos ativos que o país detém combinado ao engajamento das empresas no processo de produção sustentável abre um amplo leque de novidades com potencial para gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais para toda a sociedade.

A Confederação Nacional das Indústrias tem o papel de alertar e orientar o setor produtivo a se inserir de maneira competitiva, inovadora e responsável nesse novo modelo, buscando oportunidades na energia, gestão de resíduos sólidos, clima e emissões, saneamento, biodiversidade e florestas, tecnologia e inovação, inclusão social e educação e melhores práticas de gestão e governança corporativa.

Vislumbrando as oportunidades que são apresentadas no setor industrial, no que se refere a energia e emissões, serão apresentadas diversas possibilidades de mitigação de GEEs, o que torna conveniente se categorizar os conjuntos de medidas quanto a seus respectivos potenciais de redução total de emissões, indicando a priorização no aproveitamento dos mesmos. Para realizar esse mapeamento, a abordagem proposta parte da estimativa de usos

finais energéticos na indústria brasileira, identificando aqueles onde residem as maiores possibilidades de eficiência energética e de substituição de combustíveis, tal estimativa foi realizada a partir de dados do BEN (2015).

Neste contexto, será apresentado neste capítulo algumas possibilidades de mitigação de emissões de GEEs, em especial de dióxido de carbono, que podem ser adotadas na indústria brasileira para minimizar as mudanças climáticas e contribuir com o desenvolvimento sustentável nas empresas. Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001)

Mitigar significa intervenção antrópica que reduz as emissões ou aumenta os sumidouros de GEE (IPCC, 2001)

O Ministério do Meio Ambiente além de definir mitigação, aponta-a como uma estratégia capaz de estabilizar as emissões de CO₂, o que a longo prazo trará imensos benefícios não só ao planeta mas, principalmente, à sociedade global. Na página da internet do (MMA, 2015) no home-clima- ciência da Mudança do Clima encontra-se que:

“Mitigação é definida como a intervenção humana para reduzir as emissões por fontes de gases de efeito estufa e fortalecer as remoções por sumidouros de carbono, tais como florestas e oceanos. A pergunta básica para mitigação é: Como minimizar as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera? A mitigação é uma das estratégias de resposta à Mudança do Clima, através da redução de emissões. Seus benefícios são globais e de longo prazo. Isso fica claro com o fato de que, uma vez estabilizadas as concentrações de gases de efeito estufa em decorrência dos esforços de mitigação das suas emissões, a temperatura média global de superfície deve se estabilizar em poucas décadas, embora um pequeno aumento adicional possa ainda ocorrer ao longo de séculos”.

6.1 MEDIDAS

Existem diversas medidas estratégicas de redução de emissões de gases de efeito estufa que podem ser adotadas no setor industrial brasileiro. Mas, o fato de que existam soluções não quer dizer que estas podem ser aplicadas imediatamente, pois também existem numerosos obstáculos que devem ser superados primeiro para visualizar a aplicação de qualquer ação neste sentido. As opções de mitigação para a indústria brasileira foram analisadas pelo recente estudo do Banco Mundial em cinco conjuntos de medidas (BANCO MUNDIAL, 2010).

Será destacado algumas alternativas que resultam em maior eficiência e/ou redução de consumo de combustíveis fósseis por unidade de produto as quais incluem:

- Eficiência energética;
- Reciclagem e economia de materiais;
- Substituição inter – energéticos (fósseis X fósseis);
- Uso de energia renovável;
- Cogeração de energia.

Segundo o Programa de Planejamento Energético (PPE, 2010), essas cinco medidas de mitigação de emissões de CO₂ são passíveis de aplicação nos segmentos industriais e podem contribuir de maneira diferenciada, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2: Tipos de Medidas de mitigação X Segmentos industriais

Setores/Medidas	Eficiência Energética	Reciclagem/ Economia materias	Troca inter-combustíveis	Fontes Alternativas (solar ou biomassa)	Cogeração de energia
Cimento	AP	AP	AP	NA	MP
Ferro-gusa e Aço	AP	AP	AP	AP	AP
Ferroligas	AP	AP	BP	MP	BP
Mineração e Pelotização	AP	NA	MP	NA	BP
Química	AP	NA	AP	MP	AP
Não-ferrosos e Outros Metálicos	AP	AP	BP	NA	MP
Têxtil	AP	NA	AP	AP	MP
Alimentos e Bebidas	AP	NA	AP	AP	AP
Papel e celulose	AP	AP	BP	BP	AP
Cerâmica	AP	AP	MP	MP	BP
Outros	AP	AP	BP	BP	BP
Refino de Petróleo	AP	NA	NA	NA	AP

AP –Alto potencial; MP – Médio potencial; BP – Baixo Potencial; NA – Não se aplica

Fonte: PPE (2010)

De acordo com Quadro 2, os maiores consumidores de energia e também maiores emissões de gases de efeito estufa da indústria brasileira em 2014: Alimentos e Bebidas, Ferro-gusa e Aço e Papel e Celulose, são passíveis de serem aplicados as medidas de mitigação, destaca-se o segmento de ferro-gusa e aço com alto potencial de mitigação em todas as cinco medidas apresentadas.

Outras possibilidades tecnológicas de mitigação podem ser aplicadas na indústria e estarem contempladas no conjunto de medidas anteriormente citadas. No entanto, por ainda não se encontrarem plenamente maduras ou tenderem a ter uma penetração ainda muito tímida ou improvável no horizonte de tempo não foram mencionadas.

6.1.1 Eficiência energética

De acordo com Patterson (1996), “eficiência energética” é um termo que, em geral, refere-se à um menor consumo de energia para a produção da mesma quantidade de um serviço ou produto útil. Por ser um termo genérico, não existe uma maneira inequívoca de mensurá-lo quantitativamente, sendo necessária a utilização de uma série de indicadores para quantificar as mudanças nos níveis de eficiência energética de uma indústria, setor ou país.

Segundo a contribuição do GT3 do IPCC ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas - RAN (2014), as medidas de eficiência energética visam reduzir a quantidade do insumo demandada para se produzir em volume e qualidade originais o produto desejado. Em escala crescente de custo e complexidade, as possibilidades para isso incluem: ações no campo operacional, substituição por equipamentos mais eficientes e adoção de novos processos de produção.

De acordo com World Energy Council (2010), a eficiência energética pode ser entendida como uma redução da demanda de energia final requerida por um processo, sem, no entanto, modificar o nível de atividade fornecido pelo mesmo. Segundo Sebitosi (2008), a eficiência energética tornou-se reconhecida como uma das mais rentáveis formas de atender a demandas para o desenvolvimento sustentável, pois, ao mesmo tempo em que é capaz de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, também pode reduzir os custos operacionais de uma planta.

O consumo energético industrial ocorre de maneira mais eficiente através de progresso autônomo, ou seja, por iniciativa do mercado e sem interferência de políticas públicas, e/ou de progresso induzido, devido a estímulos criados por ações de governo (MME, 2011c). De forma

geral, o incremento dos níveis de eficiência energética na indústria dá-se por uma série de ações técnicas, entre elas (KAYGUSUZ, 2012; TANAKA, 2011):

- A manutenção, reforma e ajustes de equipamentos contra a degradação natural da eficiência de suas performances;
- Modernização, substituição e retirada de equipamentos, linhas de processo e instalações obsoletas, para a implantação de novas tecnologias;
- Gerenciamento do uso de calor para diminuir perdas energéticas através, por exemplo, do aproveitamento de calor e materiais rejeitados e do uso adequado de isolamentos;
- Melhorias no controle de processos para a melhor utilização de energia e materiais;
- Processos de racionalização, eliminando-se etapas de processamento e implementando-se novos conceitos de produção;
- Reutilização e reciclagem de produtos e materiais;

6.1.2 Reciclagem e economia de materiais

A reciclagem de materiais permite economizar energia e matérias-primas, além de trazer benefícios ambientais ligados à extração de materiais e à disposição final de resíduos. Esta alternativa é particularmente atrativa para indústrias como a siderúrgica e a vidreira, além das fabricantes de alumínio, papel e cimento (IEA, 2010b).

De acordo com o RAN (2014), algumas medidas podem ser tomadas, tais como:

- Emprego de sucata na produção de aço;
- Emprego de sucata na produção de alumínio;
- Papel: aumento do uso de aparas de papel usado;
- Uso de cacos na produção de vidro;
- Uso de aditivos na produção de cimento.

De acordo com PPE (2010), o uso dessa medida de mitigação de emissões de CO₂ é passível de aplicação no: Uso de aditivos no setor cimenteiro, reciclagem do aço (setor ferro e aço), alumínio (não-ferrosos), vidro (outras indústrias) e papel (papel e celulose), entre outras.

Outros segmentos com possibilidades concretas de obter reduções de energia e de emissões por processos de reciclagem e economia de materiais, apontados por Henrique Jr. (2010), são: vidro (uso de caco), alumínio (sucata) e cerâmica (redução de perdas de materiais).

6.1.3 Substituição inter-energéticos (fósseis X fósseis)

Compreende a substituição de combustíveis por outro de menor fator de emissão de carbono. A troca de óleo combustível por gás natural é um exemplo – quando integral, permite redução de até 27%. Nesse caso, a conversão de equipamentos geralmente exige somente adaptações de baixo custo de investimento, tal como a troca de queimadores (HENRINQUE JR., 2010).

Aspectos relacionados à logística de oferta e aos preços relativos entre os energéticos devem ser considerados adicionalmente para avaliar a viabilidade da medida.

Segundo a PPE (2010), o uso dessa medida de mitigação de emissões de CO₂ é passível de aplicação na ampliação do uso do GN em substituição ao óleo combustível, carvão mineral e coque de petróleo.

6.1.4 Uso de Energia Renovável

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas. Atualmente, tem-se procurado mais apropriadamente usar as denominações Energias Renováveis e Novas Energias, para delimitar o conceito naquelas com ciclos de renovação natural, que, em última análise, se originam da energia solar como fonte primária. Incluindo-se nesta categoria a energia eólica, de biomassa e a solar, estas são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida.

Estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentada, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente. Um exemplo de fonte de energia renovável é a biomassa. A biomassa é a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono por meio da fotossíntese. Plantas, animais e seus derivados são biomassa. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre, biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível.

A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ e água nos hidratos de carbono, que compõe sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma, a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo.

O uso de biomassa em processos industriais no Brasil contempla atualmente a lenha, o carvão vegetal e os resíduos agroindustriais, com destaque para o bagaço de cana-de-açúcar e a lixívia. A biomassa é uma fonte renovável de energia, com escala suficiente para desempenhar papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente consciente (HALL, D.O; HOUSE, J. I.; CRASE, I., 2000 apud MOTA et al., 2010).

Os governos estaduais podem incentivar o uso da biomassa como fonte de geração de energia térmica e eletromecânica a partir de diferentes instrumentos, como subsídios para os equipamentos voltados à produção de energia, aumento do prazo de renovação das licenças ambientais para empresas que utilizam biomassa como combustível, menores taxas de juros em financiamentos públicos para aquisição dos sistemas, etc. É necessário respeitar as especificidades de cada região, de forma que os estados venham a fomentar o uso de biomassa de acordo com suas respectivas realidades, em termos de acessibilidade aos diferentes tipos de biomassa e o custo da mesma na região (SILVA, 2012).

Outro exemplo de fonte de energia renovável que merece destaque é a energia solar. A energia solar térmica pode ser aproveitada de modo a complementar sistemas de aquecimento de água para uso em processos de baixa temperatura, em particular em setores que requerem procedimentos de cozimento de alimentos, secagem de produtos diversos, lavagem e esterilização. Dessa forma, os segmentos industriais mais promissores para a adoção de coletores solares são o alimentício e uma parcela do cerâmico, têxtil, químico e de papel, para os quais são comuns operações de secagem ou pré-aquecimento de água.

Como medida de mitigação seu emprego considera a substituição de combustíveis fósseis por energéticos como as diversas fontes primárias de biomassa, bem como o uso de energia solar (PBMC, 2014).

O Programa de Planejamento Energético (2010), retrata o uso dessa medida de mitigação de emissões de CO₂ por meio da ampliação do uso do carvão vegetal e da lenha renovável em substituição aos combustíveis fósseis (setores de siderurgia, papel e celulose e

alimentos/bebidas) e do emprego da energia solar térmica, em parte do setor químico e no setor de alimentos (secagem, lavagem, esterilização, cozimento e outras).

6.1.5 Cogeração de energia

A cogeração de energia compreende a produção combinada de calor e energia eletromecânica. Representa alternativa de eficiência energética para aproveitamento do insumo térmico disponível em gases de exaustão que, de outra forma, seria perdido. É amplamente utilizada em segmentos industriais de grande peso no Brasil, como os sucro-alcooleiro, químico, siderúrgico, de celulose e papel e de refino de petróleo, os quais exibem farta disponibilidade de resíduos em seu processo de produção.

Os ciclos básicos de cogeração seguem duas rotas: “topping” e “bottoming”. Esta classificação leva em conta a ordem relativa do fluxo de calor e sua conversão em energia mecânica nos sistemas. No ciclo “topping”, há a produção de energia eletromecânica em uma máquina térmica e o calor rejeitado é encaminhado a um processo subsequente. No ciclo “bottoming” ocorre o inverso, aproveita-se o calor rejeitado em altas temperaturas de processos industriais para se gerar energia eletromecânica.

Cabe destacar que a recomendação do uso de sistemas de cogeração como alternativa de mitigação de emissões de GEEs no Brasil deve ser analisada criteriosamente, uma vez que geração de eletricidade se faz em base fortemente renovável e, por conseguinte, com reduzido fator emissor de CO₂.

Neste sentido, algumas configurações de tais sistemas baseados em combustíveis fósseis tendem a níveis de emissão de CO₂ à atmosfera superiores aos produzidos pela que é atualmente gerada no “grid” brasileiro e resultando, portanto, em aumento líquido destas emissões. Assim, para que a cogeração seja alternativa de mitigação efetiva no Brasil, são estas as configurações, de fato, aplicáveis (Henriques Jr., 2010):

- aquelas que maximizem o emprego de biomassa residuais de processos industriais (bagaço, lixívia e madeira), gerando excedentes disponíveis para o sistema interligado e;
- aquelas que reaproveitam gases residuais para geração elétrica em determinados processos fabris, tais como os produzidos por combustíveis no setor siderúrgico (gases de alto e baixo forno ou de coqueria), pelo refino de petróleo (gás de refinaria), o que reduz a demanda por eletricidade nas redes de transmissão e distribuição.

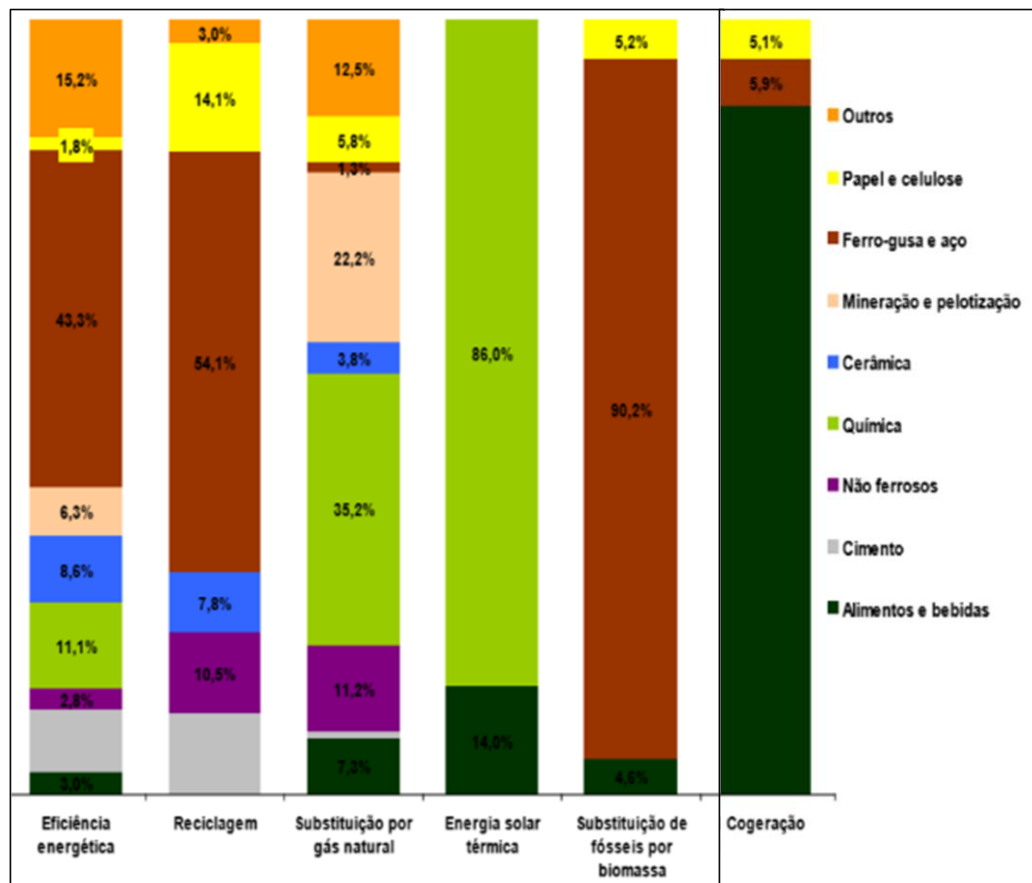
Conforme divulgado pelo Programa de Planejamento Energético (2010), o uso dessa medida de mitigação de emissões de dióxido de carbono é passível de ser aplicado no emprego de biomassas residuais em processos industriais e no aproveitamento de fluxos de gases combustíveis.

6.2 USO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO NOS SEGMENTOS INDUSTRIAIS

Constatou-se que existem poucos estudos nacionais cobrindo a potencialidade de aplicação de medidas de mitigação de emissões de CO₂ no Brasil. Um dos estudos foi realizado por Henriques Jr. (2010), onde estimou as medidas de mitigação que podem ser adotadas na indústria brasileira. Dentre as medidas com maior potencial redutor estão: eficiência energética, cogeração, reciclagem e substituição de fósseis por biomassa.

Ainda segundo Henriques Jr. (2010), a contribuição por segmento industrial de cada uma dessas medidas de mitigação de emissões de GEEs, podem ser observadas na Figura 31.

Figura 31: Contribuição das medidas de mitigação no abatimento das emissões de CO₂ em cada segmento industrial: acumulado entre 2010-2030



Fonte: Henriques Jr. (2010)

Os estudos realizados por Henriques Jr. (2010), complementam os estudos do Programa de Planejamento Energético do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COOPE/RJ (2010). Conforme mostra a Figura 31, o autor quantificou, em porcentagem, o abatimento de cada medida de mitigação em relação aos segmentos da indústria brasileira, no cenário de 2010 à 2030, além de apresentar uma sexta medida de mitigação, a energia solar térmica, a ser passível de aplicação no segmento químico 86,0% e no segmento de alimentos e bebidas 14,0%.

No capítulo 5, foi constatado os maiores emissores de dióxido de carbono entre os segmentos da indústria brasileira. Estabelecendo um paralelo entre esses maiores emissores, a Figura 31 e o objetivo deste trabalho de propor medidas estratégicas para a redução da emissão de dióxido de carbono oriunda do consumo de energia na indústria brasileira por meio da substituição do uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis, constatou-se que a medida de mitigação que contempla a substituição de fósseis por biomassa pode ser perfeitamente aplicada nos segmentos de alimentos e bebidas, ferro-gusa e aço e papel e celulose, onde o potencial de abatimento de emissões de CO₂ no cenário de 2010 à 2030, são 4,6%, 90,2% e 5,2%, respectivamente.

Em função de especificidades de cada indústria, quando analisada dentro de cada segmento industrial, a contribuição de cada medida de mitigação se distribui de forma diferenciada, conforme representado na Figura 32.

Figura 32: Percentagem por segmento industrial de contribuição das medidas para abatimento de CO₂ acumulado entre 2010 e 2030



Fonte: Adaptado Henriques Jr. (2010)

Pode-se observar, na Figura 32, que a eficiência energética é cabível de ser aplicada em todos os segmentos industriais. Contribuindo no abatimento dos segmentos industriais de alimentos e bebidas com (11,5%), cimento (54,1%), não ferrosos (58,0%), ferroligas (15,3%), química (66,1%), cerâmica (27,8%), mineração e pelotização (81,2%), têxtil (85,9%), ferro-gusa e aço (42,6%) e papel e celulose (31,9%). Outra medida de mitigação a ser destacada na figura 32 é a substituição de fósseis por biomassa, que contribui para o abatimento de CO₂ apenas nos segmentos de alimentos e bebidas com 1,9%, ferro-gusa e aço com 9,3% e papel e celulose com 9,8%.

Na indústria de alimentos e bebidas, o grande potencial de abatimento de emissões pode ser dado pelas medidas de mitigação: cogeração com 49,0% e eficiência energética com 11,5%.

Na indústria de ferro gusa e aço, as medidas de eficiência energética e a substituição de fósseis por biomassa agregam as maiores contribuições para mitigação de emissões de GEE: 42,5% e 9,3%, respectivamente.

O segmento de papel e celulose, as medidas de eficiência energética, reciclagem e cogeração apresentam as maiores contribuições para a mitigação de emissões de CO₂, com 31,9%, 28,9% e 13,2%, respectivamente. Com ênfase para a substituição de fósseis por biomassa que pode contribuir para o abatimento no cenário de 2010 a 2030 com 9,8%.

6.3 POLÍTICAS PÚBLICAS E INCENTIVOS AO CONSUMO DE ENERGIA LIMPA NA INDÚSTRIA

Vale ressaltar que mais importante que a própria localização dos esforços de mitigação nos países do Anexo I ou não-Anexo I, é saber quem é responsável pelo ônus de seu pagamento. Para que os acordos internacionais sobre mudanças climáticas possam estimular a adoção de políticas e medidas de mitigação em países em desenvolvimento, caberá aos países em desenvolvimento identificarem NAMAs (Nationally Appropriate Mitigation Actions - Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas, sem sigla em português) e estabelecerem suas necessidades de financiamento e tecnologia para viabilizar sua execução. Por sua vez, caberá aos países industrializados, além de reduzirem significativamente suas emissões domésticas, fornecerem o financiamento e as tecnologias necessárias.

A Agência Internacional de Energia Renovável (2013), define os NAMAs com sendo

"NAMAs são intervenções do setor público para mobilizar a participação privada no desenvolvimento de baixo carbono e podem variar desde estratégias multissetoriais com instrumentos políticos específicos até projetos pilotos únicos".

O artigo 4.1 da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima determina que todos os países signatários da Convenção, incluindo o Brasil, formulem, implementem, publiquem e regularmente atualizem programas e políticas nacionais com enfoque na mitigação das mudanças climáticas ocasionadas pelas emissões de gases de efeito estufa. O referido artigo também dispõe sobre a formulação de políticas regionais, como no caso de estados e municípios.

Neste sentido, o poder público tem o dever de tomar a liderança no tema das mudanças climáticas dentro do país, já que a inércia existente em todos os setores da economia quanto à mitigação das emissões de GEE's somente pode ser quebrada com o envolvimento do estado.

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.

O Plano Nacional de Mudança do Clima (PNMC), visa incentivar o desenvolvimento e aprimoramento de ações de mitigação no Brasil, colaborando com o esforço mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como objetiva a criação de condições internas para lidar com os impactos das mudanças climáticas globais (MMA, 2016).

O Brasil assumiu essa responsabilidade ao aprovar a Lei 12.187/2009, que trata da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), comprometendo realizar um conjunto de ações governamentais e setoriais visando à mitigação e a adaptação aos efeitos da mudança do clima. A partir desta lei, diversos programas (NAMAs) puderam ser desenhados de forma a contribuir para desenvolvimento sustentável do país e simultaneamente contribuir para evitar emissões de gases de efeito estufa.

No caso do Brasil, pode-se destacar algumas das ações a serem utilizadas para atingir os objetivos voluntários pelo governo e alguns programas tal como:

- redução do desmatamento na Amazônia;
- redução do desmatamento no cerrado;
- reflorestamento para produção de carvão vegetal de origem renovável, a ser utilizado no setor siderúrgico;
- integração lavoura/pecuária, para limitar as emissões do setor agropecuário;
- eficiência energética;
- expansão da produção e uso de biocombustíveis;
- expansão da geração de energia elétrica de fontes renováveis;

- adequada coleta, disposição e tratamento de resíduos, incluindo a captura, queima e possível utilização como energético do biogás proveniente de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de esgotos.

A partir do PNMC, deu-se início à elaboração de planos setoriais de mitigação e adaptação à mudança do clima, regulamentados pelo Decreto nº 7.390/2010, que subsidiariam a revisão do Plano Nacional de Mudança do Clima de 2012, porém, nem todos os planos setoriais de mitigação e adaptação foram concluídos.

De acordo com MMA (2016), os planos setoriais de mitigação e adaptação à mudança do clima que já foram concluídos são:

- Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal – PPCDAM;
- Plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento no cerrado – PPC;
- Plano decenal de energia – PDE, plano de agricultura de baixo carbono - plano abc;
- Plano setorial de mitigação da mudança climática para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação - plano indústria;
- Plano de mineração de baixa emissão de carbono – PMBC;
- Plano setorial de transporte e de mobilidade urbana para mitigação da mudança do clima – PSTM;
- Plano setorial da saúde para mitigação e adaptação à mudança do clima e em fase de elaboração o plano de redução de emissões da Siderurgia.

O Plano Setorial de Reduções de Emissão da Indústria (Plano Indústria) é de responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC e abrange a Indústria de Transformação, Bens de Consumo Duráveis, Química Fina, Base, Papel e Celulose e Construção Civil.

O Plano Indústria se sustenta em três pilares:

- (i) Implantação gradual de um sistema de medição, relato e verificação (MRV) das emissões de gases de efeito estufa da atividade industrial.
- (ii) Plano de Ação com conjunto de medidas e instrumentos de incentivo à redução de emissões.
- (iii) Criação de Comissão Técnica do Plano Indústria - CTPIn, composta por representantes do governo, indústria, sociedade civil e meio acadêmico, responsável pelo detalhamento das ações do Plano, monitoramento e revisão periódica. O Plano Indústria adota como referência a meta de redução de

emissões de processos industriais e uso de energia no setor industrial de 5% em relação ao cenário tendencial (Business As Usual) projetado para 2020. O papel da meta é estimular a melhoria da eficiência dos processos industriais e não coibir o crescimento econômico.

Em síntese, o plano indústria objetiva garantir a continuidade do desenvolvimento competitivo do Brasil e preparar o setor para enfrentar os desafios da mudança climática.

Graças às ações de mitigação previstas nos Planos Setoriais, os compromissos voluntários brasileiros de redução de emissões até 2020 devem ser alcançados, destacando-se a contribuição do controle do desmatamento, responsável pela maior parte desta redução. Com efeito, as estimativas anuais de emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil recentemente publicadas pelo MCTI (2014) indicam uma queda de 2,04 para 1,20 bilhões de toneladas de CO₂-eq entre 2005 e 2012, registrada graças à redução das emissões do desmatamento, de 1,17 para 0,17 bilhões de toneladas de CO₂-eq, conforme ilustrado na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Emissões em CO₂ eq por setor, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2011 e 2012

Setores	1990	1995	2000	2005	2011	2012	Variação	
	Gg CO ₂ eq						1995-2005	2005-2012
Energia	187.739	227.604	298.611	328.377	407.544	446.154	44,3%	35,9%
Processos Industriais	52.537	63.065	71.674	77.943	86.173	85.365	23,6%	9,5%
Agropecuária	303.772	335.775	347.882	415.724	449.853	446.445	23,8%	7,4%
Florestas	815.965	1.940.420	1.343.136	1.179.067	310.486	175.685	-39,2%	-85,1%
Resíduos	29.061	33.677	38.517	41.887	48.139	49.775	24,4%	18,8%
Total	1.389.074	2.600.543	2.099.820	2.042.998	1.302.195	1.203.424	-21,4%	-41,1

Fonte: MCTI (2014)

No entanto, após 2020, depois que as emissões por desmatamento diminuam e se estabilizarem em um nível baixo, como projetado, o total de emissões nacionais deverá subir novamente, caso não sejam tomadas novas medidas de mitigação. Isto porque o crescimento econômico induzirá um aumento do consumo de energia, que a partir de 2020 já será a principal fonte de emissões de GEE no país, pois sua dinâmica é ainda mais acelerada do que a das emissões de GEE da agropecuária, devido principalmente ao maior crescimento das emissões do setor de transportes (La Rovere *et al.*, 2013).

Verifica-se assim que o país caminha para uma situação, no longo prazo, análoga à do resto do mundo, pois com raras exceções, as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis são as mais importantes em todos os países, sendo responsáveis pela maior parte da intensificação do efeito estufa. Com efeito, a anomalia da situação brasileira até recentemente era devida à excessiva contribuição do desmatamento para as emissões totais do país. Caso, como se espera, estas emissões possam ser controladas no futuro, o desafio será a construção de um estilo de desenvolvimento sustentável, com um perfil menos intensivo no uso de energia fóssil: uma sociedade de baixa emissão de carbono (La Rovere *et al.*, 2013). Por outro lado, o Brasil se encontra em forte posição para assumir uma liderança na promoção de um desenvolvimento social e econômico de baixo carbono, devido à sua grande riqueza em recursos energéticos renováveis, permitindo ações de mitigação adicionais a serem adotadas depois de 2020 (ver Gouvello *et al.*, 2010 e La Rovere *et al.*, 2011).

7 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Será estabelecido neste capítulo uma conexão com os capítulos anteriores, apresentando, discutindo os principais resultados obtidos e alcançando os objetivos que foram propostos por esta pesquisa.

A partir dos dados publicados no Balanço Energético Nacional de 2015, e da metodologia utilizada foram realizadas algumas investigações que foram sendo respondidas e apresentadas nos capítulos anteriores e que serão relacionadas a seguir:

a) Identificação dos maiores consumidores de energéticos do Brasil e da indústria brasileira

A partir dos dados extraídos no BEN (2015), foi possível identificar no capítulo 4 os maiores consumidores de energia da matriz energética brasileira em 2014, entre os setores que apresentaram maior consumo estão: setor Industrial (32,9%), setor de transporte (32,5%) e setor energético (10,3%) do total de 265.864×10^3 tep. consumidos pelo país.

Ainda no capítulo 4, identificou-se os segmentos do setor industrial que apresentaram maior consumo de energia em 2014, podemos destacar entre eles: alimentos e bebidas, que aparece em primeiro lugar, com um consumo de 25,4% do total de energia consumida pela indústria; em seguida, vem o segmento de Ferro – gusa e aço que consome o equivalente a 18,7% do total consumido pela indústria; seguido pelo segmento de papel e celulose, que consome 13,1%. É necessário destacar que essas porcentagens correspondem à proporção do consumo de energia do setor mencionado em relação à parcela total consumida por toda a indústria brasileira.

b) Análise da estrutura de consumo dos maiores consumidores industriais

Fundamentado na proposta deste trabalho em identificar um segmento da indústria com potencial de redução de emissão a partir da mudança de estrutura de consumo de energia, optou-se por realizar uma análise da estrutura de consumo apenas do setor industrial brasileiro.

No capítulo 4 deste trabalho, realizou-se a análise da estrutura de consumo de energia de todos os segmentos que compõem a matriz energética industrial brasileira: cimento, ferro-gusa e aço, ferroligas, mineração e pelotização, químico, não ferrosos e outros da metalurgia, têxtil, alimentos e bebidas, papel e celulose, cerâmica e outros industriais.

Conforme mencionado anteriormente, os maiores consumidores de energéticos dentre os segmentos industriais são: Alimentos e bebidas, ferro-gusa e aço e papel e celulose. A seguir, será evidenciado a estrutura de consumo de cada um dos segmentos citados.

- Alimentos e Bebidas

O consumo final de energia em 2014, neste segmento, foi de 22.208 x 10³ tep/ano, representando 25,4% do consumo total da indústria brasileira. A distribuição deste consumo de energia por fonte foi identificado no Gráfico 14, onde verificou-se que os energéticos mais utilizados pelo segmento é o bagaço de cana (72,6%), seguido pela eletricidade (10,5%) e a lenha (10,1%), todos de origem renováveis. Embora seja o maior consumidor de energia da indústria nacional, sua matriz energética é uma das mais limpas, pois utiliza em seus processos industriais 93,2% de fontes renováveis. A Tabela 7, mostra o consumo final dos energéticos no segmento de alimentos e bebidas nos últimos 10 anos.

Tabela 7: Consumo final de energéticos no segmento de Alimentos e Bebidas 2005 a 2014 (%)

Fontes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Carvão vapor	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Gás natural	2,8	2,8	2,8	2,8	2,6	2,8	2,8	3,0	2,9	3,3
Lenha	10,1	9,1	8,9	9,7	9,5	9,8	10,1	9,6	9,7	10,1
Bagaço de cana	72,8	75,7	75,8	74,2	74,9	74,2	73,3	74,0	73,8	72,6
Óleo combustível	2,9	2,0	2,1	2,3	2,2	1,4	1,4	1,1	0,9	0,7
Eletricidade	9,9	9,2	9,1	9,6	9,4	10,0	10,2	10,0	10,1	10,5
Outros	1,0	1,0	1,2	1,3	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

A Tabela 7 reforça o consumo dos três principais energéticos: bagaço de cana, eletricidade e lenha nos últimos 10 anos (BEN, 2015).

Tal fato também pode ser verificado no relatório Demanda de energia 2050, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética no qual vislumbra o consumo dos energéticos no cenário de 2013 a 2050, apresentado na Figura 21 do capítulo 4, em que observou-se que os combustíveis com maior uso continuarão sendo dos produtos da cana, eletricidade e lenha. Sendo que, o bagaço de cana sofrerá uma redução de 11,1%, enquanto a eletricidade ao longo do horizonte em análise, aumenta sua participação de 9,6% para 14,0% e o gás natural que chega a 6,4% em 2050, partindo de 2,6% em 2013.

No capítulo 6 deste trabalho apontou-se as medidas de mitigação das emissões de CO₂ que podem ser adotadas na indústria brasileira e no Quadro 2, as medidas de mitigação passíveis de serem aplicadas nos segmentos industriais (EPE,2010). De acordo com o Quadro 2, a única medida de mitigação que não pode ser aplicada neste segmento é a reciclagem/economia de materiais. A Figura 31, apresentada no capítulo 6, evidenciou os estudos de Henriques Jr. (2010), onde expressa a contribuição das medidas no abatimento das emissões de CO₂ em cada segmento da indústria no cenário de 2010 a 2030. Destacando que o segmento de alimentos e bebidas pode estar abatendo suas emissões em 3,0% com eficiência energética, 7,3% com substituição por gás natural, 4,6% com substituição de fósseis por biomassa, 89,0% com cogeração e 14,0% com energia solar térmica.

Embora no segmento industrial de alimentos e bebidas seja passível de ser aplicado as medidas de mitigação para a redução das emissões de CO₂ citadas acima, conclui-se que, apesar do segmento ser o maior consumidor de energia, este não oferece grandes preocupações com a poluição oriunda deste setor, pois apresenta uma das matrizes energéticas mais limpas.

- Ferro-gusa e Aço

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2015, o consumo final de energia em 2014, neste segmento, foi de 16.354×10^3 tep/ano, correspondendo a 18,7% do consumo total da indústria brasileira. O consumo de energia por fonte, foi apresentado no Gráfico 8, onde verificou-se que os energéticos mais consumidos pelo segmento foram o carvão mineral/coque que continua sendo a principal fonte de energia (57,4%), seguido pelo carvão vegetal (17,0%) e energia elétrica (10,2%). Cabe enfatizar, que tal segmento utiliza-se predominantemente em sua estrutura de consumo as fontes não renováveis de energia, representando uma participação de 72,7% do total de energia consumida pelo setor em 2014. Sendo o coque de carvão mineral o energético mais consumido, com participação de 46,0% do consumo total e carvão mineral,

representando 11,4% do consumo final. Outro ponto a destacar é que a indústria do aço brasileira continua se distinguindo como a única no cenário global que utiliza a biomassa (carvão vegetal), recurso natural renovável, como agente redutor no processo produtivo do aço.

A Tabela 8, mostra o consumo final dos energéticos no segmento de ferro-gusa e aço nos últimos 10 anos.

Tabela 8: Consumo final de energéticos no segmento de ferro-gusa e aço 2005 a 2014 (%)

Fontes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Gás natural	6,6	6,7	6,9	6,6	5,3	5,5	5,7	6,3	6,3	6,3
Carvão mineral	10,8	11,0	11,0	11,6	12,1	10,8	11,0	11,0	11,1	11,4
Óleo combustível	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	0,2	0,2	0,2	0,2
Gás de coqueria	6,0	6,0	5,9	6,0	7,8	7,6	7,4	7,3	7,4	7,6
Coque de carvão mineral	35,9	35,0	35,8	35,7	38,2	43,5	44,5	44,3	44,9	46,0
Eletricidade	8,3	8,8	8,9	9,1	9,8	9,8	9,9	10,0	10,4	10,2
Carvão vegetal	28,4	28,2	27,0	26,5	20,9	20,5	20,1	19,7	18,6	17,0
Outros	3,5	3,6	3,7	3,7	4,9	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

É possível observar na Tabela 8 que nos últimos 10 anos o consumo final do coque de carvão mineral e do carvão mineral estão entre os três principais energéticos mais consumidos por este setor, é importante ter uma preocupação com o nível de emissão gerado pelo uso desses energéticos nos processos produtivos.

A demanda de energia em 2050, elaborado pela EPE divulgou o consumo de energéticos neste segmento, no cenário 2013 a 2050, em porcentagem, conforme Figura 10 apresentada no capítulo 4. Onde observou-se que os energéticos mais utilizados na indústria de ferro-gusa e aço continuarão sendo o coque de carvão mineral e o carvão vapor/carvão mineral ambos de origem fósseis e altamente poluentes, não se diferenciando do cenário atual. Vale ressaltar ainda, que o consumo dessas fontes de energia representam mais de 50% do total de energéticos consumidos pelo segmento. Portanto, este segmento da indústria brasileira é fator preocupante nas emissões de dióxido de carbono.

Para evitar um nível de poluição elevada pelo segmento, recomenda-se a aplicação de medidas de mitigação que possam reduzir as emissões de dióxido de carbono. No capítulo 6, como já mencionado, apresentou-se as medidas de mitigação que podem ser aplicadas na indústria brasileira, bem como, o percentual de abatimento de cada medida nos segmentos da indústria. No Quadro 2, deste mesmo capítulo, identificou-se que todas as medidas de mitigação possuem alto potencial de aplicação no segmento de ferro-gusa e aço.

Ainda no capítulo 6, na Figura 31 apontou-se os estudos de Henriques Jr. (2010), onde expressa a contribuição das medidas no abatimento das emissões de CO₂ em cada segmento da indústria no cenário de 2010 a 2030. Pelo estudo, identificou-se que a substituição de fósseis por biomassa pode abater 90,2% as emissões de CO₂, seguido por, reciclagem 54,1%, eficiência energética 43,3%, cogeração 5,9% e substituição por gás natural 1,3%.

Conclui-se que, o segmento de ferro-gusa e aço apresenta um grande potencial redutor de emissões de dióxido de carbono, por ser o segundo o maior consumidor de energia na indústria brasileira e pelo uso intensivo das fontes de energia não renovável e altamente poluente.

- Papel e Celulose

Em conformidade com o Balanço Energético 2015, o consumo final de energia em 2014, no segmento de papel e celulose foi de 11.423 x 10³ tep/ano, correspondendo a 13,1 % do consumo total da indústria brasileira. O consumo de energia por fonte foi apresentado no Gráfico 15, onde pode ser observado que os energéticos mais utilizados pelo segmento, foram a lenha com 47,6%, seguido da eletricidade 15,6% e a lixívia com 15,0% do total consumido pelo segmento. Vale ressaltar que todas fontes (lixívia, eletricidade e lenha) são de origem renováveis, com uma representatividade de 86,4% do total de energia consumida pelo segmento em 2014.

A Tabela 9 mostra o consumo final dos energéticos no segmento de ferro-gusa e aço nos últimos 10 anos.

Tabela 9: Consumo final de energéticos no segmento de papel e celulose 2005 a 2014 (%)

Fontes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Gás natural	6,7	7,0	7,0	5,7	5,2	6,7	7,2	7,7	7,6	7,4
Lenha	15,2	15,6	15,1	15,3	15,5	14,9	14,9	15,3	15,3	15,0
Óleo combustível	8,2	5,4	5,5	5,6	5,3	4,6	3,8	3,3	2,9	3,2
Lixívia	43,3	44,9	44,9	45,5	46,4	46,5	46,3	46,4	47,1	47,6
Eletricidade	16,5	16,6	16,7	17,1	16,8	16,1	16,1	16,4	15,9	15,6
Carvão vegetal	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,2	1,2	1,0
Outros	9,0	9,5	9,9	9,9	9,9	10,0	10,5	9,7	10,0	10,2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Constatou-se na Tabela 9, que as fontes que apresentaram maior consumo nos últimos 10 anos, são exatamente a lixívia, eletricidade e a lenha, todas de origem renovável e correspondendo mais de 60% dos energéticos utilizados em seus processos produtivos.

O relatório sobre a previsão da demanda de energia 2050, elaborado pela EPE divulgou o consumo final de energéticos neste segmento, no cenário 2013 a 2050, em porcentagem, conforme Figura 24 apresentada no capítulo 4. Constatou-se que a principal fonte energética deste segmento industrial é a lixívia, representada na Figura 24 por outras fontes primárias, subproduto do processo de produção da celulose, seguida pela eletricidade e a lenha. O estudo realizado pela empresa de pesquisa energética nos evidencia que os combustíveis utilizados na produção de papel e celulose são mais 80% de origem renováveis, o que nos remete uma menor preocupação com as questões ambientais, em especial, com as emissões de dióxido de carbono.

Contudo, no capítulo 6 deste trabalho, apontou-se as medidas de mitigação das emissões de CO₂ que podem ser adotadas na indústria brasileira e no Quadro 2, as medidas de mitigação passíveis de serem aplicadas nos segmentos industriais (EPE,2010). De acordo com o Quadro 2, todas as medidas de mitigação podem ser aplicadas neste segmento

Ainda no capítulo 6, especificamente na Figura 31, evidenciou os estudos de Henriques Jr. (2010), onde expressa a contribuição das medidas no abatimento das emissões de CO₂ em cada segmento da indústria no cenário de 2010 a 2030. Destacando que a eficiência energética pode abater 1,8% das emissões, substituição por gás natural 5,8%, substituição de fósseis por biomassa 5,2%, reciclagem 14,1% e cogeração 5,1%.

Conclui-se, então, que o segmento de papel e celulose apesar de estar entre os três maiores consumidores de energéticos da indústria nacional, não retrata no atual cenário grandes preocupações com a poluição oriunda deste segmento. A partir do uso da lixívia e da lenha, há uma compensação de CO₂ emitido durante a combustão com o absorvido na etapa de plantio, implicando em baixo impacto sobre o aquecimento global. Com isso, esse segmento possui pouco potencial de redução de emissão.

Entre os três setores analisados, o Ferro-gusa e Aço é o que mais apresenta possibilidades de redução na emissão de GEE, já que sua matriz energética concentra-se na utilização de coque de carvão mineral e carvão mineral, combustíveis fósseis altamente poluentes.

c) Análise do balanço de emissões de CO₂ do setor industrial e identificação dos seus principais emissores de CO₂

De acordo com a metodologia de mensuração de emissão de CO₂ do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e de dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2015), foi possível calcular que as emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira foi de 666,0 milhões de toneladas equivalente (Mt CO₂-eq), como apresentado no capítulo 5 deste trabalho. Ainda no referido capítulo, foi apresentado no Gráfico 19 o percentual de emissões de CO₂ por setor no Brasil, onde identificou-se que os três principais setores responsáveis pelas emissões de CO₂ no Brasil em 2014 foram: o de transporte (38,7%), o industrial (36,1%) e o energético (13,6%).

No setor industrial, as emissões atingiram equivalente a 240,4 Mt CO₂-eq equivalente a 36,1% do total emitido pela matriz energética brasileira. No Gráfico 20, apresentado no capítulo 5, verificou-se o percentual de emissões de CO₂ em cada segmento do setor industrial, onde observou-se que os segmentos de alimentos e bebidas é o maior emissor, com 33,5% do total de emissão pelo setor, correspondendo por 80,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO₂-eq) em 2014, seguido pelos setores de ferro-gusa e aço, correspondendo a 22,7% das emissões o equivalente a 54,6 Mt CO₂-eq e o setor de papel e celulose, responsável pela emissão de 14,2% do total emitido pelo setor industrial, equivalente a 34,1 Mt CO₂-eq.

Portanto, conclui-se que os maiores consumidores de energia também são os maiores emissores de dióxido de carbono.

d) Identificação de um segmento com potencial de redução de emissão a partir da mudança da estrutura de consumo de energia

Para determinar o segmento com potencial de redução de emissão de CO₂, levou-se em consideração os maiores consumidores de energia e os que utilizam uma significativa quantidade de combustíveis fósseis.

Após a identificação dos maiores consumidores de energia entre os segmentos da indústria brasileira e dos que mais consomem fontes não renováveis em seus processos produtivos, foi possível quantificar o nível de emissão de CO₂ oriundos do uso desses combustíveis fósseis a partir da metodologia *top-down* do IPCC.

A partir do resumo apresentado no Quadro 1 do capítulo 3 foi possível verificar que o setor de Ferro-gusa e Aço é o 2º maior emissor e o que mais utiliza combustíveis fósseis. Utilizando, em sua matriz energética, bastante coque de carvão mineral e carvão mineral (combustíveis fósseis altamente poluentes, intensivos em carbono e passíveis de troca), portanto, tal setor pode ter um grande potencial de redução de emissão, caso o coque de carvão mineral e os derivados de carvão mineral (fontes não-renováveis) forem substituídos por fontes renováveis. Tal análise, levou a escolha desse setor como foco desta pesquisa. A seguir, mostra-se os energéticos com potencial para substituir o uso do coque de carvão mineral e carvão mineral no setor industrial de Ferro-gusa e Aço.

e) Medidas de mitigação baseadas em mudanças na matriz energética do segmento industrial de Ferro-gusa e Aço

Com base na Figura 3, apresentada no capítulo 3, foi possível identificar as possibilidades de fontes energéticas renováveis com potencial para substituir o coque de carvão mineral no segmento de ferro-gusa e aço. Analisando esta figura, concluiu-se que o bagaço, a lenha e o carvão vegetal são os energéticos apontados como possíveis substitutos.

Para uma melhor fundamentação da proposta de substituição de energéticos, será apresentado na Tabela 10 o cálculo de nível de emissão de CO₂ com atual matriz energética do segmento industrial de ferro-gusa e aço no ano de 2014.

Tabela 10: Quantificação de emissão de CO₂ no setor industrial brasileiro de Ferro-gusa e Aço

Energéticos	Consumo (10 ³ tep)	%	Conversão para TJ	Conteúdo de Carbono (tC)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta	Emissão de CO ₂
Gás Natural	1.036	6,3	42.160	645.053	641.827,8	2.353.368,6
Carvão Mineral	1.871	11,4	80.371	2.153.942	2.110.862,8	7.739.830,3
Óleo Diesel	35	0,2	1.503	30.370	30.066,3	110.243,1
Óleo Combustível	35	0,2	1.503	31.723	31.405,9	115.154,9
GLP	26	0,2	1.058	18.199	18.016,9	66.062,1
Gás de Coqueira	1.242	7,6	50.544	1.354.567	1.347.794,6	4.941.913,7
Coque de Carvão Mineral	7.522	46,0	323.116	8.659.513	8.572.918,0	31.434.032,5
Eletricidade	1.671	10,2	0	0	0	0
Carvão vegetal	2.783	17,0	119.547	3.574.454	3.556.582,0	13.040.800,7
Alcatrão/ outros sec de Petróleo	133	0,8	5.713	105.122	104.071,1	381.593,9
Total	16.354	100,0				60.182.999,8

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Observou-se na Tabela 10, que o energético com maior parcela de emissão de dióxido de carbono é o coque de carvão mineral, emitindo o equivalente a 31.434.032,5 de CO₂, correspondendo a 46,0% do total das emissões. O carvão vegetal contribui com 17,0% (13.040.800,7 de CO₂) das emissões nacionais do setor em estudo, seguido do carvão mineral, com 11,4 % (7.739.830,3 de CO₂) que poderia também ser substituído por fontes renováveis.

Vale lembrar que as emissões de CO₂ da biomassa foram incluídas apenas a título de informação, uma vez que os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas. Assim, o alto consumo do carvão vegetal pelo setor pode ser visto como positivo do ponto de vista ambiental, pois este energético desloca parte do consumo de derivados de petróleo e de carvão e, como suas emissões são compensadas pela sua renovação, é menos poluente.

Já 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 CO₂ para suprir a mesma demanda energética, possuem suas reservas naturais limitadas em curto período de tempo.

A Tabela 11 apresenta o nível de emissão de dióxido de carbono com a substituição do coque de carvão mineral por bagaço, lenha e carvão vegetal.

Tabela 11: Quantificação de emissão de CO₂ com a substituição dos energéticos no setor industrial de Ferro-gusa e Aço no Brasil no ano de 2014

Energéticos	Consumo (10 ³ tep)	%	Conversão para TJ	Conteúdo de Carbono (tC)	Correção dos valores p/ considerar combustão incompleta	Emissão de CO ₂
Gás Natural	1.036	6,3	42.160	645.053	641.827,8	2.353.368,6
Carvão Mineral	1.871	11,4	80.371	2.153.942	2.110.862,8	7.739.830,3
Óleo Diesel	35	0,2	1.503	30.370	30.066,3	110.243,1
Óleo Combustível	35	0,2	1.503	31.723	31.405,9	115.154,9
GLP	26	0,2	1.058	18.199	18.016,9	66.062,1
Gás de Coqueira	1.242	7,6	50.544	1.354.567	1.347.794,6	4.941.913,7
Lenha/carvão vegetal/Bagaço	7.522	46,0	323.116	9.661.173	9.612.867,3	35.247.180,2
Eletricidade	1.671	10,2	-	0	0	0
Carvão vegetal	2.783	17,0	119.547	3.574.454	3.556.582,0	13.040.800,7
Alcatrão/ outros sec de Petróleo	133	0,8	5.713	105.122	104.071,1	381.593,9
Total	16.354	100,0				63.996.147,5

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados obtidos do BEN (2015)

Verificou-se que, para qualquer tipo de biomassa sólida (bagaço, lenha ou carvão vegetal), o nível de emissão de CO₂ é o mesmo, portanto é indiferente, em termos de emissão, usar qualquer um dos 3 (três) energéticos. Isso é devido ao fator de conversão, fator de emissão

de carbono e fração de carbono oxidado serem iguais para os três energéticos (bagaço, lenha e carvão vegetal).

Além do carvão mineral, outros combustíveis fósseis são usados como óleo diesel, óleo combustível e gás liquefeito de petróleo que também poderiam ser substituídos por fontes renováveis, mas o uso desses combustíveis são menos expressivos que o carvão e seus derivados. O gás natural também tem uma participação na atual matriz energética do setor industrial de ferro-gusa e aço, mas esse energético pode ser considerado menos impactante que os outros combustíveis fósseis mencionados. Dessa forma, decidiu-se focar somente na substituição do coque de carvão mineral.

Constatou-se ainda, que os níveis de emissão de dióxido de carbono relacionados com o uso dos três tipos de biomassa foram maiores que o nível de emissão com o uso do coque de carvão mineral, porém, acredita-se que tal aumento pode ser recompensado com o sequestro de carbono na fotossíntese das plantações dos insumos energéticos renováveis.

Além da compensação de CO₂ com o replantio, é importante levar em consideração a disponibilidade de biomassas no Brasil e no mundo, onde estima-se que existam dois trilhões de toneladas de biomassa no globo terrestre ou cerca de 400 toneladas por pessoa, o que, em termos energéticos, corresponde a oito vezes o consumo anual mundial de energia primária (produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como o petróleo, gás natural, carvão mineral, minério de urânio, lenha e outros) (BIO WARE, 2009).

A energia de biomassa é aquela obtida pela queima de materiais orgânicos, sendo responsável por pouco mais de 9% da eletricidade consumida no país. Entre os materiais mais usados estão bagaço de cana, casca de arroz, cavaco de madeira e caroço de açaí. Também é possível usar os gases resultantes da decomposição ou incineração de lixo em usinas especializadas. Em comparação com os combustíveis fósseis, como os derivados de petróleo, esses resíduos geram menos emissões de gases causadores do efeito estufa. Por isso, a biomassa é considerada um tipo de energia sustentável. “A combustão de materiais orgânicos devolve à natureza apenas o carbono que a planta usou para crescer, o que não gera prejuízos ambientais”, diz Manoel Regis Lima Verde Leal, gerente de relações institucionais do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE).

Só as usinas de biomassa cadastradas na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) produziram 17,5% mais eletricidade entre janeiro e maio de 2015 do que no mesmo período do ano passado. Estimativa da Agência Internacional de Energia mostra que a biomassa deve representar 11% da matriz mundial até 2020.

A energia gerada da biomassa no Brasil também está em crescimento. O total da potência instalada no país somente em 2013 atingiu 11.250MW, o que equivale à produção de energia prevista para a Usina de Belo Monte, a qual está estimada em 11.233MW (3º ABIBER, 2015).

Ainda, segundo o 3º anuário brasileiro das indústrias de biomassa e energias renováveis 2015, o crescimento é resultado das 496 usinas de biomassa que estão em operação no país. De acordo com a União da indústria de Cana-de-Açúcar (ÚNICA), os dados satisfatórios de crescimento se dão a todos os tipos de biomassa, mais em especial o bagaço e a palha da cana-de-açúcar.

A boa perspectiva também se deve à descoberta desse tipo de energia por parte das indústrias. Grandes empresas que produzem sua própria energia estão substituindo os combustíveis fósseis que moviam suas plantas por fontes alternativas. Entre os principais benefícios está o de alcançar metas de redução de emissão de poluentes.

A biomassa começou a se tornar uma fonte mais atrativa graças ao avanço da tecnologia. Com o aperfeiçoamento dos equipamentos usados na combustão, a eficiência do processo tem aumentado. Um dos principais desafios da indústria é conseguir tirar proveito máximo da biomassa, já que as condições de umidade e conservação dos resíduos impactam diretamente na geração de energia.

No país, a biomassa da cana-de-açúcar é a principal fonte de geração de energia correspondendo a 81,6% do total. Seguido da biomassa de licor negro, o qual trata-se de um combustível resultante das indústrias de papel e celulose e que atualmente corresponde a 13,6% do total. Os 5% restantes de potência instalada é preenchido por meio de resíduos de madeira, biogás, capim elefante, óleo de palmiste, carvão vegetal e casca de arroz (3º ABIBER, 2015).

Outro fator que permite manter uma perspectiva otimista para o futuro da biomassa no Brasil é a disponibilidade de espaço para produzir os resíduos usados nas caldeiras. Atualmente, há 6,5 milhões de hectares sendo utilizados para o cultivo de biomassa de origem florestal. “Ainda existem 200 milhões de hectares de áreas com baixa ocupação econômica que poderiam ser ocupadas com florestas plantadas”, diz Mateus Cerqueira, gerente de combustíveis da Bolt Energias, empresa de geração e comercialização de energia (CTBE, 2015).

A Bolt é um bom exemplo de como esse mercado pode se desenvolver no Brasil. A empresa está construindo em São Desidério, na Bahia, a maior usina térmica movida por biomassa da América Latina. Batizada de Campo Grande BioEletricidade, a usina será abastecida com cavaco de eucalipto proveniente de uma floresta dedicada. Serão 150 megawatts

de capacidade. De acordo com Cerqueira, a previsão de início da operação é janeiro de 2018. “A biomassa é uma fonte de energia que se adapta aos preceitos da economia de baixo carbono. Além disso, o desenvolvimento desse mercado pode ter um impacto importante na geração de empregos e no melhor aproveitamento de nossas áreas verdes”, diz Cerqueira (CTBE, 2015).

Então, conclui-se previamente que no Brasil existem quantidades suficientes de biomassa para atender as substituições de combustíveis fósseis por biomassa, haja visto que essas podem ser provenientes de florestas nativas ou florestas plantadas.

É importante salientar que apesar da disponibilidade de biomassas, ainda existem dificuldades no aproveitamento destes recursos, como o recolhimento, armazenamento e o processamento para as caldeiras. Algumas empresas investiram no desenvolvimento de equipamentos específicos para cada etapa desde processo, contribuindo para que a diversificação da matriz energética se tornasse um bom negócio (3º ABIBER, 2015).

As limitações quanto à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis, como a biomassa, no segmento de ferro-gusa e aço devem ser analisadas em trabalhos futuros, uma vez que cada região tem sua caracterização e enfrentam realidades diferenciadas.

Assim, levando-se em consideração toda a oferta de biomassa e as questões ambientais pode-se dizer que o uso da biomassa no setor industrial de ferro-gusa e aço é mais vantajoso do que fazer uso do coque de carvão mineral.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conter o aquecimento global entrou definitivamente na pauta das preocupações dos países. Além das estratégias visando minimizar a vulnerabilidade e aumentar a adaptação às mudanças já em curso, reduzir as emissões de gases de efeito estufa tornou-se crucial de forma a evitar mudanças climáticas. O aquecimento global, conforme discorrido nesta dissertação, representa sério risco, e deve acarretar danos ambientais, econômicos e sociais irreversíveis.

Reduzir o lançamento de GEE na atmosfera seria uma alternativa viável quando se pensa em fontes renováveis de energia. Além disso, parece ser menos custoso do que reparar danos já estabelecidos. Independentemente da capacidade econômica dos países, ações de mitigação de emissão de GEE deverão constar da pauta dos governos, e abrangerão todas as atividades econômicas, compreendendo desde a geração de energia, produção industrial, transporte, agricultura e disposição de resíduos, à preservação de florestas.

O Brasil tem contribuição importante nas emissões globais, já apontado como um dos maiores emissores de CO₂. Seu maior desafio será conter essas emissões.

Diante do exposto a proposta desta dissertação foi analisar a estrutura de consumo de energia dos setores que compõe a matriz energética nacional, em especificidade dos segmentos industriais brasileiro e propor medidas de mitigação das emissões de dióxido de carbono oriundo do consumo de energia na indústria, de forma a contribuir na elaboração de políticas públicas, além de fornecer reflexões sobre sustentabilidade corporativa às empresas do setor industrial e fornecer informações importantes para o desenvolvimento sustentável do país.

Após analisar o consumo de energia no segmento industrial de ferro-gusa e aço e propor mudança em sua matriz energética, pode-se observar que a emissão do coque de carvão mineral é inferior a de seus possíveis substitutos. Apesar disso, é possível refletir que devido à compensação do alto nível de emissão gerado pela queima da biomassa com o sequestro de CO₂ na fotossíntese com o replantio, é viável, em termos ambientais, a retirada do coque de carvão mineral na indústria em estudo, para a inserção do bagaço, lenha ou carvão vegetal.

Além da compensação de CO₂ com o replantio, como já mencionado, pode-se levar em consideração a disponibilidade de biomassas no Brasil e o crescente interesse na geração de energia proveniente desses insumos. A indústria tem acompanhado esse processo e buscado meios e mecanismos de desenvolver ou implementar tecnologias que possibilitem a intensificação do uso da biomassa em seus processos.

Sugere-se com este trabalho que outras pesquisas possam ser realizadas, levando em consideração a substituição de combustíveis fósseis por biomassa, em outros segmentos que

compõem a matriz energética da indústria brasileira, bem como, no próprio segmento de ferro-gusa e aço, onde deve ser analisada as empresas do segmento por região, visto que possuem suas particularidades e enfrentam realidades diferenciadas. Com um estudo mais específico, regional ou estadual, sugere-se também uma análise da viabilidade econômica das possíveis aplicações da cana-de-açúcar (produção de açúcar, geração de energia, produção de álcool e etc.) e de outras biomassas.

Vale destacar que os projetos de geração de energia a partir do uso de fontes renováveis e projetos de eficiência energética podem ser difundidos para os demais setores do Brasil, de forma, a garantir uma maior redução da poluição. Se estas medidas forem aplicadas a todos os setores, seria possível reduzir grande parte da poluição gerada pelas atividades industriais, contribuindo assim, para o desenvolvimento sustentável das empresas, para a redução dos efeitos ocasionados pelo aquecimento global e principalmente garantindo um futuro melhor para as gerações presentes e futuras.

Nesse sentido, a principal conclusão desta pesquisa é que o Brasil apresenta condições de atender, frente aos demais países, ao aumento na demanda por fontes renováveis, em razão de apresentar condições climáticas favoráveis e pela diversidade da vegetação que fornece matérias-primas que poderiam, de fato, serem fontes de energia substitutas dos combustíveis fósseis. Cabe aqui acrescentar que existem várias pesquisas científicas envolvendo fontes alternativas de energia e o desenvolvimento de tecnologias avançadas para ampliar o uso dessas fontes nos diversos setores consumidores.

Para que essas mudanças na estrutura de consumo de energia ocorram, é necessário mais incentivo do governo para reduzir os custos de adaptação aos novos energéticos e maiores exigências por parte dos órgãos de controle ambiental e dos consumidores, a fim de estimular a prática de processos industriais menos poluentes. Além de uma política setorial clara, contínua e estimulante objetivando aproveitar o potencial da biomassa, diminuindo o hiato entre o potencial técnico e o efetivamente realizado.

Por fim, conclui-se que uma transição bem sucedida para uma baixa emissão de dióxido de carbono na indústria brasileira exigirá uma combinação de tecnologias de energia renovável e de eficiência energética, bem como um conjunto de políticas para garantir a implementação dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM, 2012. **Anuário da Indústria Química Brasileira**. Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo/SP. 2012.
- ABIBER, 2015: 3º Anuário Brasileiro das indústrias de biomassa e energias renováveis, 2015. Disponível em: https://issuu.com/anuariobiomassa/docs/anuario_biomassa_2015_low. Acesso em: 16 janeiro de 2017.
- ANEEL, 2013: Agência Nacional de Energia Elétrica. **Apresentação realizada no 10º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética (COBEE) por Máximo Pompermayer**. Rio de Janeiro, 2013.
- ANG, B.W., LIU, N., 2007. “**Energy Decomposition Analysis: IEA model versus other methods**”. Energy Policy, vol. 35, Issue 4, pp. 2287-2295.
- ANP, 2014: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim mensal de energia**. Disponível: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 04 de jul. 2015.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e Instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 392p.
- BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**, 1 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2004.
- BEN, 2015: **Balanco Energético Nacional 2015** (Ano-base 2014). Divulga relatórios síntese e finais relativos ao binômio oferta-consumo de fontes de energia no Brasil do ano de 2014. Disponível em: < <http://www.ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 01 abril 2015.
- BIOWARE, 2009: **Tecnologia e soluções para biomassa e outros resíduos**. Disponível em: < <http://www.bioware.com.br>>. Acesso em: 12 janeiro 2017.
- BOYD, G., HANSON, D., STERNER, T., 1988. “**Decomposition of Changes in Energy Intensity - A Comparison of Divisia Index and Other Methods**”. Energy Economics, v. 10, n. 4, Oct.
- BNDES, 2009: Fundo Amazônia. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)**, Relatório Anual de Atividades. Disponível em http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt. Acessado em 6/07/2015.
- BNDES, 2012: **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. O BNDES e a Rio+20. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao/Meio_Ambiente/Rio20/. Acessado em 27/09/2015.
- BNDES, 2015: **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**. Cenários mundo-Brasil 2030: insumos para o planejamento estratégico do BNDES. Rio de Janeiro, RJ. Editado pelo departamento de divulgação (Dez./2015). Relatório Anual BNDES, 2015. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/7104>.

BREKKE, K.A. e O. Johansson-Stenman, 2008: **The behavioural economics of climate change**. Oxford PRIMEIRO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO NACIONAL 77 Review of Economic Policy, 24(2), 280-297.

CANEPA, Carla. **Cidades Sustentáveis: o município como locus da sustentabilidade**. São Paulo: Editora RCS, 2007.

CTBE, 2015: Laboratório Nacional de excelência em bioenergia. Disponível em: <http://ctbe.cnpm.br/pt-br/o-ctbe/>. Acesso em 15 de janeiro de 2015.

CETESB. SMA. **Relatório sobre Produção mais Limpa e Consumo Sustentável na América Latina e Caribe**. São Paulo: PNUMA/CETESB, 2005.

CERVIGNI, R., Rogers, J.A. and Henrion, M., eds, 2013a. **Nigeria: Toward Climate-Resilient Development in Nigeria**. World Bank: Washington, DC, USA.

CNI, 2012: Confederação Nacional da Indústria. **A Indústria Brasileira no Caminho da Sustentabilidade** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2012. Relatório.

CNI, 2012: Confederação Nacional da Indústria. **Avanços da indústria brasileira rumo ao desenvolvimento sustentável: síntese dos fascículos setoriais** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2012. Relatório.

CNI, 2012: Confederação Nacional da Indústria. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio / Confederação Nacional da indústria**. Associação brasileira do Alumínio. – Brasília: CNI, 2012. Relatório.

CNI, 2012: Confederação Nacional da Indústria. **INSTITUTO AÇO BRASIL. A indústria do aço no Brasil / Confederação Nacional da indústria**. Instituto aço Brasil. – Brasília: CNI, 2012. Relatório.

CNI, 2013: Confederação Nacional da Indústria. **Mapa estratégico da indústria 2013-2022**. 2. ed. – Brasília: CNI, 2013. Relatório.

COPPE, 2011: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia. **CLIMA & ENERGIA: a COPPE e os desafios da mudança climática. COPPE/UFRJ, 2011**. Disponível em <http://www.coppe.ufrj.br/sites/default/files/coppe2011leitura.pdf>. Acessado em 15/10/2015.

DIAS, A. N., 2015. **As emissões fugitivas de gases de efeito estufa da indústria de petróleo e gás natural no Brasil – inventário, cenários e propostas de mitigação**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015. XVI, 121 p.: il.; 29,7 cm.

EPE, 2007: Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia (MME) / Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF: MME/EPE, 2007. Relatório. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acessado em 10/08/2015.

EPE, 2010. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Disponível em <http://www.epe.gov.br>

EPE, 2012: Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF: EPE, 2012. Relatório. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>. Acessado em 10/11/2015.

EPE, 2013: Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF: EPE, 2013. Relatório. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>. Acessado em 10/11/2015

EPE, 2014: Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de Energia 2050**. Ministério de Minas e Energia (MME) / Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, RJ: MME/EPE, 2014. Relatório. Disponível em <http://www.epe.gov.br/>. Acessado em 27/10/2015

EPE, 2015: Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro: EPE, 2015

FERRER, Gabriel Real. **Sostenibilidad, Transnacionalidad y Transformaciones del Derecho**. Texto ainda não publicado e entregue pelo próprio Prof. Dr. Gabriel Real Ferrer em aula do Curso de Mestrado em Ciência Jurídica da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI em setembro de 2012. p.4

FREITAS Juarez. **Direito constitucional à democracia**. In: Juarez Freitas e Anderson V. Teixeira (Org.). *Direito à democracia: ensaios transdisciplinares*. São Paulo: Conceito, 2001.

FREITAS, Juarez. **Sustentabilidade direito ao futuro**. 2. ed. Belo Horizonte. Fórum, 2012.

FONSECA, I.F. e M. Bursztyn, 2007: **Mercadores de moralidade: a retórica ambientalista e a prática do desenvolvimento sustentável**. *Ambiente & Sociedade*. 10(2), 171-188.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L.D., 2003, **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**, 2.ed. São Paulo: Editora de Universidade de São Paulo, 2003.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J.R. *Política energética no Brasil*. Estudos Avançados, 2005.

GOUVELLO, C. de et al., 2010: **Brazil low-carbon country case study. Sustainable Development Department of the Latin America and Caribbean Region**, The World Bank, Washington, DC, 253 pp. Disponível em http://siteresources.worldbank.org/BRAZILEXTN/Resources/Brazil_LowcarbonStudy.pdf. Acessado em 01/07/2015.

GOUVELLO, C.D. et al., 2010: **Estudo de Baixo Carbono para o Brasil**. Departamento de Desenvolvimento Sustentável – Região da América Latina e Caribe/Banco Mundial. Washington DC, p. 280.

GONG, M. et al., 2009: **Group cooperation under uncertainty**. *Journal of Risk and Uncertainty*, 39(3), 251-270.

HALL, D.O; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. *Overview of biomass energy*. 2000.

HELM, D., 2008: **Climate-change policy: why has so little been achieved?** Oxford Review of Economic Policy, 24(2), 211-238.

HENRIQUES JR., M.F., 2010, **Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPP, 2010. Tese (Doutorado) – Programa de Planejamento Energético, 2010, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. http://www.bp.com/pt_br/brazil/sala-de-imprensa/noticias/o-relatorio-estatistico-da-bp-mostra-que-2014, acesso em 08/10/2015.

HOWARTH, R., SCHIPPER, L., DUERR, P., STROM, S., 1991. “**Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries: Decomposing The Impacts of Changes in Output, Industry Sector, and Energy Intensity**”. Energy Economics, v.13, n.2, Apr.

IEA, 2010b: **Energy Technology Perspectives**. Scenarios and Strategies to 2050. Organization for Economic Co-operation and Development OECD/ International Energy Agency (IEA), Paris, France. Disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf>

IEA, 2013a. World Energy Outlook 2013. International Energy Agency.

IEA, 2015: Energy Climate and Change. **World Energy Outlook Special Report 2015**. International Energy Agency.

IPCC, 1995: Intergovernmental Panel on Climate Change. **Greenhouse gas inventories: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual**. Bracknell: United Kingdom Meteorological Office, Inglaterra, 1995.

IPCC, 1996: Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook**, revisão de 1996. Apresenta a metodologia top-down para mensurar o nível de emissão de CO₂ a partir do volume energético consumido. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>>. Acesso em: 06 de maio de 2015.

IPCC, 2001, Climate Change 2001: The scientific basis. In: HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A. et.al. (eds), Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, New York, UK, 944p. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm>. Acesso em: 05 março 2015.

IPCC, 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change. **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., XXX pp.

IPCC, 2012: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Programa para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp> (acessado em 09/02/2016).

IPCC, 2012: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. A Special Report of

Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B. et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, New York, NY: Cambridge University Press, 582 pp.

IPCC, 2012: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Sustainable Development and Equity, Chapter 4, Draft Zero**. Working Group III (WG3) Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: Mitigation of the Climate Change.

IPCC, 2013: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC, 2014: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2014: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2015: **Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas**. Sobre o IPCC <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml> (acessado em 09/04/2015).

KAYGUSUZ, K. **Energy for sustainable development: A case of developing countries**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 2, p. 1116–1126, 2012.

KOJIMA, M. e LOVEI, M., 2001, **Urban Air Quality Management - Coordinating**

KOLK A.. & PINKSE, J. **Market strategies for climate change**. *European Management Journal*, Vol 22, p. 304-314, 2004.

LA ROVERE E. L., 2009: **Perspectivas para a mitigação das mudanças climáticas: ações do Brasil e no mundo**, pp. 145-153. In: IV Conferência Nacional de Política Externa e Política Internacional (CNPEPI) “O Brasil no Mundo que Vem Aí”, Rio de Janeiro, 3-4

dezembro 2009. Ministério das Relações Exteriores. Brasília, DF: Fundação Alexandre de Gusmão, 2010.

LA ROVERE, E.L. et al., 2011: **Estudo Comparativo entre Três Cenários de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Brasil e uma Análise de Custo-Benefício**. Projeto BRA /00/020 MMA/PNUD.

LA ROVERE, E. L. et al. **Brazil beyond 2020: from deforestation to the energy challenge**. *Climate Policy*, v. 13, n. sup01, p. 70–86, mar. 2013.

LA ROVERE, E.L., C.B.S. Dubeux, A.O. Pereira Jr e W.Wills, 2013: **Brazil beyond 2020: from deforestation to the energy challenge**, *Climate Policy*, volume 13, supplement 01, p.70-86.

LEAL, R. A., 2014, **Ciclos econômicos e emissão de CO₂ NO BRASIL: Análise dinâmica para políticas ambientais ótimas**. Rio Grande do Sul: UFPEL, 2014.

LIMA, M.S.O., 2011, **A aplicabilidade do gás natural do ponto de vista mercadológico, econômico e ambiental: um estudo para os Estados do Amazonas e de São Paulo**. São Paulo: USP/São Carlos, 2011. Tese (Doutorado)

LUCENA, A. F. P., SCHAEFFER, R., 2012. **“Mudanças do Clima e Economia Verde”**. In: Knirsch, T. (Org.), Caminhos para Sustentabilidade, Cadernos Adenauer, Ano XIII, Ed. Especial. ISBN 978-85-7504-164-2.

MARINGOLO, V., 2011, **Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para a sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento**. Programa de pós graduação em Minerologia e petrologia. São Paulo – SP, 2001. Tese (Doutorado)

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de produtos Sustentáveis**. 1 ed. São Paulo: Editora da universidade de São Paulo, 2005.

MELLO NETO, Francisco Paulo; FROES, César. **Gestão da responsabilidade corporativa: o caso brasileiro**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001

MMA, 2013: Ministério de Meio Ambiente. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Clima. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencaodas-nacoes-unidas>

MMA, 2014: Ministério Meio Ambiente. **Protocolo de Quioto**. Brasília, Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>>. Acessado em 08/10/2015.

MMA, 2015: Ministério Meio Ambiente. Clima –ciência da mudança do clima. Brasília, Brasil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>> Acessado em 08/10/2015.

MCT, 2006: Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatório de referência sobre emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down** elaborado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) no ano de 2006. Disponível em:<<http://www.mct.gov.br/clima>>. Acesso em: 22 de abril 2015.

MCT, 2009: Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: informações gerais e valores preliminares (24 de novembro de 2009). Disponível em www.mct.gov.br. Acesso em: 25 nov. 2015

MCT, 2010: Ministério da Ciência e Tecnologia. **Portal do Ministério, Mudanças Climáticas, 2010**. Disponível em www.mct.gov.br. Acesso em: 02 dez. 2015.

MCT, 2010: Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília: MCT, 2010. Relatório.

MDIC, 2013: Ministro do Desenvolvimento, Indústria e Comércio exterior. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação**. BRASÍLIA/DF: MDIC, 2013

MCTI, 2014: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**.

MILARÉ. Edis. **Direito do ambiente**. 5ª ed. reformulada, atualizada e ampliada. São Paulo: RT 2007, p. 1276

MME, 2006: Ministério de Minas e Energia. **Apresentação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)**. Disponível em: <
http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5>. Acessado em 25 jun. 2015.

MME, 2007: Ministério de Minas e Energia. **“Plano Nacional de Energia 2030”**. Brasília: MME, 2007. Relatório.

MME, 2011a: Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética. Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília, DF. 134 pp. Disponível em
<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>.

MME, 2015: Ministério de Minas e Energia. <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/planos-setoriais-de-mitigacao-e-adaptacao/itemlist/category/41-fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em 25 de setembro de 2015.

MILARÉ. Edis. **Direito do ambiente**. 5ª ed. reformulada, atualizada e ampliada. São Paulo: RT 2007, p. 1276

MYHRE, G., et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: STOCKER, T.F. et al. (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. p.659-740.

NIU, S. & DING, Y. & NIU, Y. & LI, Y. & LUO, G. **Economic growth, energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries**. Energy Policy, Vol. 39, n 4, p. 2121-2131, 2011.

OMM, 2013: Organização Meteorológica Mundial. Relatório anual

PATTERSON, M. **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues.** *Energy Policy*, v. 24, n. 5, p. 377-390, maio 1996.

PBMC, 2014: Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas **Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional (RAN 1) sobre Mudanças Climáticas** [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.

PSMAMC, 2013: **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação**, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) BRASÍLIA/DF Junho de 2013; <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Industria.pdf>

PPE, 2010: Programa de Planejamento energético. Medidas de mitigação de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. <http://www.coppe.ufrj.br/pt-br/programas/planejamento-energetico>

RIBAS, R. P., 2013, **Perspectivas de Demanda e Emissões de CO₂ no Setor Energético Brasileiro Face às Políticas de Mitigação da Mudança do Clima**, Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ROSA, L.P., 2005, “**A importância de uma política climática brasileira**”, Revista Parcerias Estratégicas, Brasília, n.21, dez. 2005.

SACHS, Ignacy. Estratégias de Transição para do século XXI – Desenvolvimento e Meio Ambiente. São Paulo: Studio Nobel – Fundação para o desenvolvimento administrativo, 1993.

SANTOS, E.O., 2006, **Contabilização das emissões líquidas de gases de efeito estufa de hidrelétricas: uma análise comparativa entre ambientes naturais e reservatórios hidrelétricos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. 165p. Tese (Doutorado) – Coordenação dos programas de pós graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SATTERTHWAITE, David. **Como as cidades podem contribuir para o Desenvolvimento Sustentável**. In: MENEGAT, Rualdo e ALMEIDA, Gerson (org.). Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades, Estratégias a partir de Porto Alegre. Porto Alegre: UFRGS Editora, pp. 129-167, 2004

SEBITOSI, A. B., 2008. “**Energy efficiency, security of supply and the environment in South Africa: Moving beyond the strategy document**”. *Energy*, v. 33, Issue 11, pp. 1591-1596.

SEROA DA MOTTA, Ronaldo. A Política Nacional sobre Mudança do Clima. Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios. Brasília: Ipea, 2011.

SILVA, Ricardo Emilio da. **Análise do Impacto da Política Estadual de Mudanças Climáticas no Estado de São Paulo: Estudo de Caso no Setor Industrial e perspectivas futuras** / Ricardo Emilio da Silva – Guaratinguetá. 2012

SIMÕES, A. & LA ROVERE E. L. **Energy Sources and Global Climate Change: The Brazilian Case**. Energy Sources Part A: Recovery, Utilization & Environmental Effects, Vol 30, p. 1327-1344, 2008.

SOUSA, Ana Carolina Cardoso. **Responsabilidade Social e Desenvolvimento Sustentável: A incorporação dos conceitos à estratégia empresarial**. Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, (COPPE/UFRJ, Planejamento Energético, 2006).

STERN, N., 2007: **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Transport, Environment, and Energy Policies in Developing Countries Washington, The World Bank

TREVISAN, M.; GALLON, S.; MONTAGNER, R. **As questões de sustentabilidade e responsabilidade socioambiental em uma incubadora tecnológica**. In: Anais... XXV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Anais... Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/>>. Acesso em: 17/10/2015. Link UNITED NATIONS. **Framework convention on climate change**. New York: [s.n.], 1992a. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/conv/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

UNFCCC, 1992: **United Nations Framework Convention on Climate Change**. FCCC, Secretariat, Bonn, 1992

VEIGA, José Eli da. **Cidades Imaginárias – o Brasil é menos urbano do que se calcula**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

WEITZMAN, M.L., 2007: **The role of uncertainty in the economics of catastrophic climate change**. AEI-Brookings Joint Center Working Paper no. 07-11. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=992873>.

WHO, 2011: **Health in the Green Economy: Health Co-benefits of Climate Change Mitigation Housing Sector**. World Health Organization, Geneva.

WILBANKS, T. J. e KATES, R. W., 1999, "Global change in local places: how scale matters", Climatic Change, v.43, pp.601-628

WORLD ENERGY COUNCIL, 2010, **Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/energyefficiencypoliciesaroundtheworldreviewandevaluation/1introduction/1175.asp>. Acesso em: Abril de 2015.