

Alexandre José de Souza Silva

**MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO
NA REGIÃO DO VALE DO AÇO–MG, ATRAVÉS
DA UTILIZAÇÃO DO GÁS NATURAL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Profissional, para a obtenção do Título de MESTRE PROFISSIONAL em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto.

Florianópolis, 27 de novembro de 2015.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

SILVA, Alexandre José de Souza.

Mitigação das emissões de dióxido de carbono na Região do Vale do Aço–MG, através da utilização do gás natural.

Florianópolis, 2015, 69p.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Ambiental” – UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

**Mitigação das Emissões de Dióxido de Carbono na Região do
Vale do Aço–MG, Através da Utilização do Gás Natural**

ALEXANDRE JOSÉ DE SOUZA SILVA

Dissertação submetida ao corpo docente do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na área de Gestão Ambiental na Indústria.

Aprovado por:

Prof.^a. Cátia Regina Silva de Carvalho, Dr.^a Prof.^a. Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.^a.
(Orientadora)

Prof. Guilherme Farias Cunha, Dr. Prof.^a. Carolina Brandão Pereira de Souza, Dr.^a.

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
(Coordenador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
NOVEMBRO/2015

Este trabalho é dedicado à minha
esposa e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar saúde e perseverança, durante toda esta jornada.

A MINHA FAMÍLIA, especialmente a minha esposa Cristina, pelo amor, apoio e momentos alegres que me proporciona. Sua compreensão foi muito importante neste período, durante o qual tive que conciliar trabalho e estudo. Aos meus Pais pela educação, carinho, apoio e princípios que me deram em todos os momentos da minha vida. A minha mãe Lurdes pelo carinho e orações, que me ajudaram a vencer.

AOS AMIGOS de Mestrado pelas trocas de experiências e pela agradável convivência e incentivo durante a jornada, especialmente ao Geraldo Alves, que foi fundamental para meu ingresso no curso, parceiro sempre na execução dos trabalhos.

ÀOS AMIGOS da GASMIG, especialmente Eduardo Bessa pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

À MINHA ORIENTADORA professora Cátia R. S. de Carvalho Pinto que aceitou tão gentilmente a árdua tarefa de me orientar, obrigado pelo apoio e confiança no trabalho elaborado.

A TODAS AS PESSOAS que de alguma forma me ajudaram no decorrer deste trabalho.

Os que desprezam os pequenos acontecimentos
nunca farão grandes descobertas. Pequenos
momentos mudam grandes rotas.

Augusto Cury

RESUMO

A apreensão decorrente das mudanças climáticas causadas pelo aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE), especialmente de dióxido de carbono CO_2 tem alavancado diretrizes no sentido de mitigar os impactos negativos advindos da mudança climática no mundo. As emissões antrópicas de CO_2 pelo setor industrial vêm contribuindo de maneira incisiva para o aumento de emissões dos gases do efeito estufa, sendo que as indústrias de siderurgia e de papel celulose tem papel preponderante na elevação do quantitativo de emissões de GEE. Neste contexto, o presente trabalho demonstra a mitigação das emissões de CO_2 obtidas pela substituição dos combustíveis fósseis mais poluentes pelo gás natural que apresenta menor potencial de emissão de GEE. Através da metodologia Top-down proposta pelo IPCC, quantificou-se no período de 2010 a 2014 um total de 1,4 milhões de toneladas de CO_2 evitadas para o meio ambiente pelas indústrias siderúrgicas e de papel celulose da Região do Vale do Aço-MG decorrentes da substituição de combustíveis fósseis, como óleo combustível, óleo diesel e GLP pelo Gás Natural, trazendo resultados consideráveis e benefícios para meio ambiente.

Palavras-chave: Gases do Efeito Estufa (GEE). Gás natural. Emissões evitadas de CO_2 .

ABSTRACT

The seizure resulting from climate change caused by increased emissions of greenhouse gases (GHGs), especially carbon dioxide CO₂ has leveraged guidelines to mitigate the negative impacts from climate change in the world. Anthropogenic CO₂ emissions by the industrial sector has contributed incisively to increased emissions of greenhouse gases, and the industries of paper pulp mills have major role in raising the quantity of GHG emissions. In this context, this work demonstrates the mitigation of carbon dioxide emissions CO₂ obtained by replacing fossil fuels more pollutants from the natural gas that has less potential for greenhouse gas emissions. Through top-down methodology proposed by the IPCC, quantified in the period from 2010 to 2014 a total of 1.4 million tons of CO₂ avoided for the environment by the steel and paper industries cellulose Vale do Aço-MG Region from switching from fossil fuels such as fuel oil, diesel oil and LPG by natural gas, bringing significant results and benefits for the environment.

Keywords: Greenhouse Gases (GHG). Natural gas. Avoided CO₂ emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das reservas provadas de gás natural em trilhões de metros cúbicos.....	20
Figura 2 – Projeção da matriz energética mundial.....	21
Figura 3 – Distribuição, por estado, das reservas de gás natural provadas no Brasil em 31 de dezembro de 2013	22
Figura 4 – Consumo de gás natural.....	23
Figura 5 – Evolução do consumo nos mercados industrial e geração elétrica.....	25
Figura 6 – Total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira.....	34
Figura 7 – Evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira em MtCO ₂ -eq.....	34
Figura 8 – Adesão dos países ao acordo e a evolução das emissões de CO ₂	36
Figura 9 – Metodologia utilizada na execução do presente trabalho	40
Figura 10 – Mapa esquemático dos municípios e das indústrias siderúrgicas e de celulose da Região Metropolitana do Vale do Aço-MG, atendidos com o fornecimento de Gás Natural pela GASMIG.....	41
Figura 11 – Consumo de gás natural pelas indústrias da Região do Vale do Aço-MG.	48
Figura 12 – Participação dos combustíveis na matriz energética das indústrias da Região do Vale do Aço-MG anteriormente ao gás natural.	49
Figura 13 – Consumo estimado para o combustível utilizado anteriormente no período de 2010 a 2014.....	50

Figura 14 – Comparativo das emissões de CO ₂ do gás natural em relação ao GLP	51
Figura 15 – Comparativo das emissões de CO ₂ do gás natural em relação ao óleo diesel.....	52
Figura 16 – Comparativo das emissões de CO ₂ do gás natural em relação ao óleo combustível.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução do consumo nos mercados industrial e geração elétrica	24
Tabela 2 – Evolução da segmentação do mercado (mil/m ³)	27
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade do gás natural comercializado no Brasil.....	29
Tabela 4 – Gases do efeito estufa, nomenclatura, principais fontes de emissão e seu potencial de aquecimento global	32
Tabela 5 – Poderes caloríficos inferiores dos combustíveis	44
Tabela 6 – Fatores de emissão de carbono e fração de carbono oxidada	45
Tabela 7 – Coeficientes de equivalência médios para os combustíveis	46
Tabela 8 – Passos da metodologia Top-down para obtenção do resultado final de quantificação das emissões de CO ₂	51
Tabela 9 – Emissões de CO ₂ Evitadas pelo uso do gás natural no período de 2010-2014	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR5 – Fifth Assessment Report
ANP – Agência Nacional do Petróleo
BEN – Balanço Energético Nacional
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAIT – Climate Analysis Indicators
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CFCS – Clorofluorcarbonos
CH₄ – Metano
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO₂ – Dióxido de Carbono
COP – Conselho Nacional do Petróleo
CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
GASBOL – Gasoduto de Transporte Bolívia-Brasil
GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais
GASPETRO – Petrobras Gás S.A
GEE – Gases do Efeito Estufa
GNV – Gás Natural Veicular
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
H₂S – Gas sulfídrico
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NASA – National Aeronautics and Space Administration
NOAAA – Agência Nacional Oceânica e Atmosférica
N₂ – Nitrogênio
NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
ONU – Organização das Nações Unidas
OPEP – Organização dos Países Exportadores do Petróleo
PCI – Poder Calorífico Inferior
PCS – Poder Calorífico Superior
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente
PPT – Programa Prioritário da Térmicas
PRONAR – Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar
RCE – Redução Certificada de Emissões
RMVA – Região Metropolitana do Vale do Aço
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
Tep – Tonelada Equivalente de Petróleo
UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativas	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Mercado de Gás Natural no Mundo	19
3.2	Mercado de Gás Natural no Brasil	21
3.3	Mercado de Gás Natural no Estado de Minas Gerais.....	25
3.4	Características do Gás Natural	28
3.5	Emissões dos Gases do Efeito Estufa Decorrentes da Queima de Combustíveis Fósseis	30
3.6	Legislação e Regulamentação Ambiental	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Área de Estudo	41
4.2	Consumo de Gás Natural	42
4.3	Estimativa do Consumo do Combustível Utilizado Anteriormente ao Gás Natural	42
4.3.1	Coleta de Dados	42
4.3.2	Determinação do Volume do Combustível Anterior ao Gás Natural	43
4.4	Determinação das Emissões de Dióxido de Carbono CO ₂	44
4.4.1	Conversão Para uma Unidade Comum de Energia	45
4.4.2	Calculo da Energia e Emissões de CO ₂	46
4.4.3	Quantitativo de Emissões de CO ₂ Evitadas.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	Consumo de Gás Natural	48
5.2	Consumo do Combustível Anterior	49
5.3	Emissões de Dióxido de Carbono CO ₂	50
6	CONCLUSÕES	55
7	CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	APÊNDICE A – Formulário de Entrevista para Consumidores Industriais	63
	APÊNDICE B – Respostas dos Consumidores Industriais	64

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global decorrente das emissões recordes de combustíveis fósseis, como petróleo e carvão, deverá provocar um aumento das temperaturas globais em torno de 3,6 graus Celsius até o final do século, mudança mais rápida ocorrida em 10.000 anos (RODRIGUES, 2015).

Segundo o levantamento da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos EUA (NOAA), a elevação da temperatura do planeta atingiu níveis recordes no primeiro semestre de 2015 atingindo 1,53 graus centígrados acima da média do Século XX. Os oceanos também bateram recordes de temperatura no primeiro semestre de 2015, ficando 0,74 graus centígrados mais quentes.

O aumento da interferência humana nos ecossistemas naturais através das queimadas e desmatamentos, associados também com o acentuado aumento da queima de combustíveis fósseis, são os maiores responsáveis por mudanças climáticas na Terra. Isso se deve principalmente à elevada emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) que essas atividades acarretam, provocando inúmeros desequilíbrios ecológicos e distúrbios climáticos (COSTA, 2015).

De acordo com a NASA (National Aeronautics and Space Administration), que lançou em 2014 seu primeiro satélite dedicado à medição de Dióxido de Carbono Atmosférico, a elevação da emissão de CO₂ tem provocado um desequilíbrio que vem contribuindo para o aumento do nível do mar e alteração nos padrões de precipitação (COSTA, 2015).

O desequilíbrio no clima vem se acentuando na última década e não é mais novidade para a sociedade, que o nível do mar está subindo e as geleiras estão diminuindo, ainda neste século, o nível do mar deve subir de 0,8 a 1 metro, especialmente devido ao derretimento parcial de grandes reservas de gelo do mundo, recordes de temperaturas altas e tempestades severas e secas estão se tornando cada vez mais comum, acarretando implicações significativas para os seres humanos (COSTA, 2015).

No território brasileiro, os desequilíbrios de precipitações podem ser observados através do efeito El Niño que tem provocado secas no Nordeste e o aumento de chuvas e enchentes na Região Sul (RODRIGUES, 2015).

No Brasil o setor industrial tem relevante participação no aumento da emissão de CO₂, em função da intensa utilização de

combustíveis fósseis para geração de energia nos processos de produção (BEN, 2015).

Neste contexto a disponibilização do gás natural na Região do Vale do Aço-MG, vem proporcionando a mitigação do impacto ambiental consequente das emissões de gases do efeito estufa, oriundos dos processos de queimas de combustíveis das empresas de siderurgias e do segmento de papel celulose, localizadas nessa região, que anteriormente ao gás natural utilizavam em seus processos de geração de energia, combustíveis fósseis mais poluentes, como óleo combustível, óleo diesel e GLP.

O gás natural tem se mostrado atualmente como uma excelente alternativa energética, face à necessidade de reduzir os problemas associados à liberação de gases do efeito estufa, resultantes da queima de combustíveis fósseis mais poluentes.

Neste Cenário o gás natural distribuído pela Companhia de Gás de Minas Gerais (GASMIG) a partir de 2010 na Região do Vale do Aço-MG às indústrias siderúrgicas e de papel celulose, segmentos de peso da economia nacional, apresenta-se como uma excelente alternativa para mitigação do impacto ambiental decorrente das emissões de CO₂ provocadas pelo setor industrial da região.

1.1 Justificativa

O aquecimento global provocado pelas emissões de gases do efeito estufa é um dos grandes desafios dos países emergentes para a promoção de um desenvolvimento sustentável. Dentre os combustíveis fósseis é de conhecimento que o gás natural pelas suas características químicas, quando utilizado como combustível, apresenta diversas vantagens em relação aos demais combustíveis fósseis, principalmente considerando as questões ambientais, já que a queima de gás natural é mais limpa e muito menos agressiva ao meio ambiente, gerando menos emissão de CO₂ que os outros combustíveis fósseis derivados de Petróleo. Conquanto, se a sociedade ainda não pode escusar completamente dos combustíveis fósseis, pode minimizar os problemas com a utilização de um combustível fóssil que apresenta menor impacto ambiental (ALMEIDA, 2013).

No mundo todo o gás natural é conceituado como um combustível limpo, por apresentar baixos índices de emissão de poluentes na atmosfera, dentre os combustíveis fósseis. O gás metano, por conter 75% de carbono em sua composição em massa, produz 2,77 kg de gás carbônico e gera 56 MJ para cada quilograma queimado. Um

quilograma de um hidrocarboneto líquido com 10 átomos de carbono produz 3,164 kg de gás carbônico e gera 45,8 MJ. Para cada 4,186 MJ geradas na combustão, o metano produz 0,2057 kg de gás carbônico e o hidrocarboneto líquido com 10 átomos de carbono produz 0,2896 kg, isto é, 41% a mais. O gás natural sendo constituído por elevados índices de metano pode ser considerado o mais limpo combustível fóssil em termos de emissão de dióxido de carbono (MONTEIRO, 1998).

É importante salientar, todavia, que a combustão de cada combustível fóssil, provoca impactos ambientais de forma diferenciada. Portanto, é possível mensurar a mitigação obtida quando da utilização de combustíveis fósseis mais limpos. Neste contexto o gás natural apresenta-se como uma excelente alternativa energética, tendo em vista a obtenção da redução do aquecimento global decorrente dos problemas associados à queima de combustíveis fósseis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo principal, quantificar os efeitos da utilização do gás natural nas indústrias da Região do Vale do Aço-MG, relacionando dois níveis de emissões: aquelas geradas através do uso real do gás natural e as que teriam sido geradas caso fossem utilizados outros combustíveis fósseis, como óleo combustível, óleo diesel e GLP.

2.1 Objetivos Específicos

- ✓ Calcular, por meio de metodologia específica, as emissões de dióxido de carbono CO₂ evitadas com a substituição dos combustíveis fósseis tradicionais pelo gás natural na Região do Vale do Aço-MG.
- ✓ Demonstrar os benefícios ambientais oriundos da utilização do gás natural como combustível na Região do Vale do Aço-MG, no período estudado, comparando as emissões decorrentes da utilização do gás natural, em relação a outros combustíveis mais poluentes.
- ✓ Demonstrar que o gás natural pode ser utilizado para mitigar a emissões de gases do efeito estufa, sendo uma alternativa para o segmento siderúrgico e de papel celulose para reduzir os impactos negativos, decorrente das emissões de CO₂ para o meio ambiente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Mercado de Gás Natural no Mundo

O mercado de gás natural pode ser considerado recente. A utilização deste energético como atividade econômica no cenário mundial se deu no início do século XX, desenvolvendo-se irregularmente nas diversas regiões do planeta (LAUREANO, 2002). Já o uso do gás natural como fonte de suprimento energético se deu principalmente a partir dos choques do petróleo, ocorridos nos anos de 1973 a 1979, caracterizados pela elevação dos preços provocada pela Organização dos Países Exportadores do Petróleo (OPEP), que levou as grandes potências consumidoras a diversificarem seus suprimentos de energia (GOMES, 1996). Esses eventos alertaram sobre a necessidade da diversificação das fontes energéticas, a fim de diminuir a vulnerabilidade dos países associada a choques de oferta de petróleo, conjuntura esta que, entre outros, impulsionou o uso de hidrocarbonetos gasosos (MATHIAS, 2008).

De acordo com a BP GLOBAL (2015), o total das reservas provadas no mundo no final do ano de 2014 era de 187,1 trilhões de metros cúbicos. Conforme mostrado na Figura 1, a maior parte das reservas de gás natural classificadas como reservatórios convencionais estão no Oriente Médio e na Rússia (BP Statistical Review, 2014). Recentemente, a discussão das técnicas de perfuração horizontal e faturamento hidráulico na produção de gás natural em formações rochosas classificadas como não convencionais vêm alterando a distribuição geográfica das reservas de gás natural. Estima-se que haja 200 trilhões de metros cúbicos de gás de xisto tecnicamente recuperáveis no mundo (BP – World Energy Outlook Booklet, 2013), sendo que até 2012, apenas nos Estados Unidos a produção de gás não convencional se mostrou uma realidade.



Figural: Distribuição das reservas provadas de gás natural em trilhões de metros cúbicos.

Fonte: BP Statistical Review of Word Energy, 2014.

Baseado em projeções com relação ao crescimento econômico e populacional, desenvolvimento de tecnologia e na política, a BP GLOBAL (2015) projeta um grande crescimento na participação do gás natural na matriz energética mundial até o ano de 2035 conforme mostrado na Figura 2.

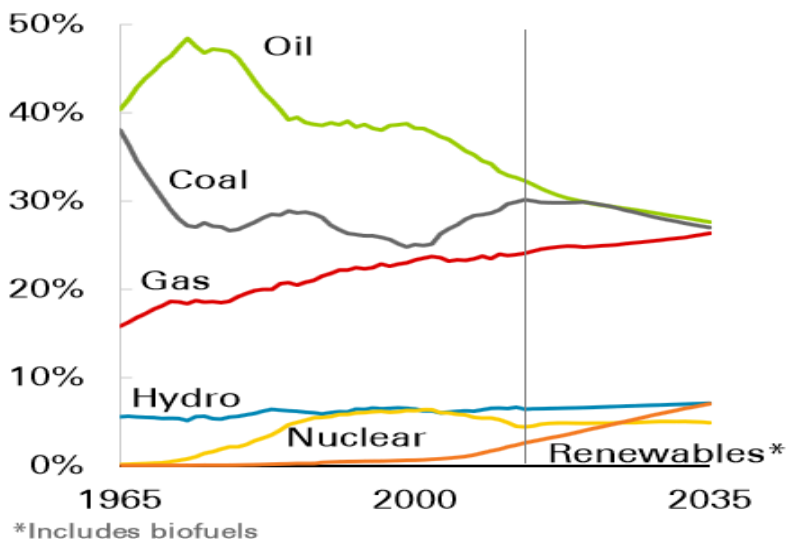


Figura 2: Projeção da matriz energética mundial.
Fonte: BP World Energy Outlook Booklet, 2015.

3.2 Mercado de Gás Natural no Brasil

A produção de gás natural no Brasil tem início em 1954 na Bahia, sendo seu consumo extremamente concentrado na região do recôncavo baiano. Até a década de 1980, a produção concentrou-se basicamente na região Nordeste, com destaque para os estados da Bahia, Alagoas, Sergipe e Rio Grande do Norte. A partir década de 1980, há uma mudança do eixo de produção do Nordeste para a região Sudeste, mais precisamente para o estado do Rio de Janeiro (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

A partir das descobertas realizadas na Bacia de Campos, houve um grande incremento nas reservas de gás natural no Brasil. As reservas provadas brasileiras passaram de 16,5 bilhões de metros cúbicos em 1964, para 52,5 bilhões de metros cúbicos em 1980. Até o final do ano de 2013, o Brasil possuía reservas de gás natural estimadas em torno de 458,163 bilhões de metros cúbicos segundo dados da ANP (2014). A distribuição percentual das reservas de gás natural por unidade da federação, em 31 de dezembro de 2013, encontra-se na Figura 3.

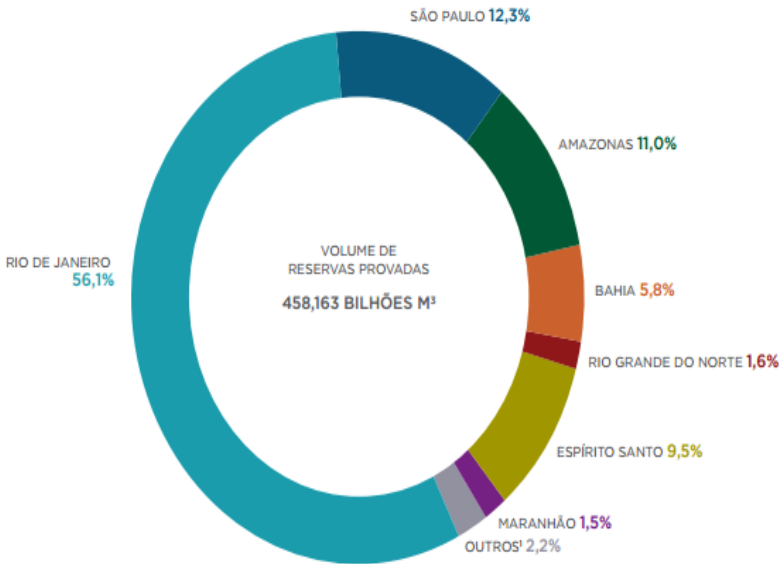


Figura 3: Distribuição, por estado, das reservas de gás natural provadas no Brasil em 31 de dezembro de 2013.

Fonte: ANP – Anuário Estatístico 2014

No Brasil existem alguns campos com elevados reservatórios de gás natural que apresentam baixa produção em função da ausência de infraestrutura para escoamento. Isso explica o elevado diferencial entre a produção nacional e a oferta de gás no mercado interno (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

Segundo dados da ANP, dos 77 MMm³/d produzidos em 2013, apenas 52 MMm³/d foram destinados ao mercado interno. Do restante, 10,7 MMm³/d foram reinjetados, 3,6 MMm³/d foram queimados e 10,8 MMm³/d foram consumidos na própria atividade de produção. Além dos 52 MMm³/d provenientes da produção nacional, a oferta de gás natural no ano de 2013 foi composta por mais 31,7 MMm³/d provenientes da Bolívia sendo transportados através do gasoduto de transporte GASBOL, e por mais 13,4 MMm³/d oriundos das importações de GNL.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2015), nos últimos dez anos o consumo de gás natural aumentou 104%, passando de uma média de 68,7 para 140,3 milhões de m³/dia. A média

diária de produção do ano de 2014 foi de 87,4 MMm³/d e o volume de gás natural importado foi de 52,9 MMm³/d. Com isto, a participação do gás natural na matriz energética passou de 8,9% em 2004 para 13,5% em 2014.

Apesar de grande parte da oferta de gás natural estar sendo direcionada ao setor termoeletrico nos últimos anos para geração de energia elétrica, o setor industrial continua sendo responsável por uma grande demanda de gás natural. Dos 140,3 MMm³/d vendidos aos consumidores finais em 2014, 25% foram destinados ao setor industrial conforme Figura 4 (BEN, 2014).

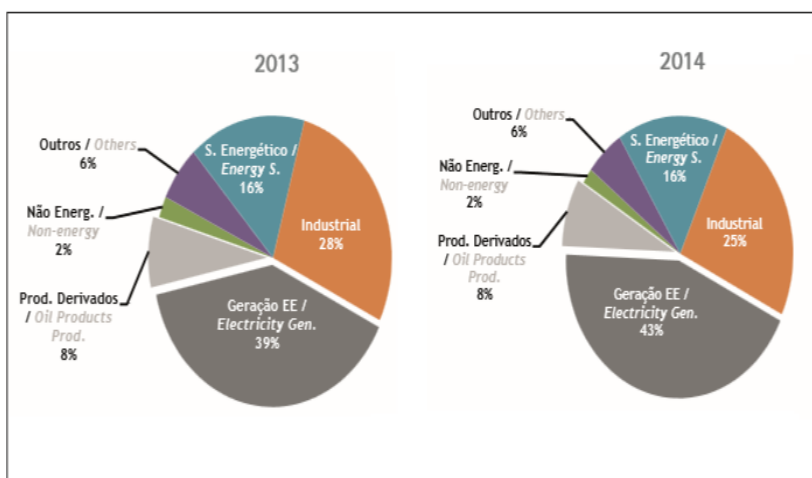


Figura 4: Consumo de gás natural.

Fonte: BEN, 2015.

O mercado industrial tem uma importância estratégica para o desenvolvimento da indústria do gás natural. Suas características de demanda relativamente estável e o grande volume por consumidor contribuem para facilitar a viabilização de projetos de construção da infraestrutura de transporte e distribuição. Dessa forma as empresas distribuidoras priorizam esse mercado na sua estratégia comercial. Em geral, são os contratos com consumidores industriais que garantem uma demanda mínima para viabilizar projetos de construção de gasodutos de transmissão e ramais de distribuição a partir dos City Gates (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

A partir de 2001/2002 expandiu-se a construção de usinas termelétricas a gás natural em função da crise de oferta ocorrida no setor termelétrico entre 1999 a 2002. Essa expansão do segmento termelétrico reorientou a política de gás natural que passou a ter como principal objetivo a garantia de abastecimento do setor de geração de eletricidade. Nesse contexto, o mercado industrial, que até então era considerado prioritário, passou a ser preterido ao mercado termelétrico (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

A vulnerabilidade do setor de geração hidroelétrica em relação à sazonalidade do regime pluviométrico brasileiro estimulou o desenvolvimento do Programa Prioritário das Térmicas (PPT) em fevereiro de 2000. Para a indústria do gás natural, o PPT era uma ótima oportunidade de ancorar o desenvolvimento da demanda e viabilizar os investimentos em infraestrutura de transporte, uma vez que os volumes consumidos justificariam as economias de escalas associadas aos projetos de novos gasodutos (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

O Programa Prioritário das Térmicas foi concebido inicialmente para reduzir os efeitos da sazonalidade do regime pluviométrico no sistema elétrico nacional, ou seja, as usinas térmicas seriam inseridas no sistema apenas nos períodos de estiagem anuais. No entanto, conforme está sendo amplamente noticiado pela imprensa, os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas estão apresentando os menores níveis da história, e neste contexto as usinas térmicas estão sendo despachadas durante todo o ano. Segundo BEN 2014, o consumo de gás natural para a geração de energia elétrica em 2013 foi 54,8% maior que o volume de 2012, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Evolução do consumo nos mercados industrial e geração elétrica
Fonte: Adaptado do BEN, 2014.

Ano de Referência	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Termelétrico (MMm ³)	4.505	4.158	3.518	6.427	2.908	7.730	5.722	10.070	15.592	19.801
Industrial (MMm ³)	8.209	8.595	9.196	9.605	8.243	10.538	11.377	11.192	11.065	11.176

A Figura 5 demonstra claramente a evolução do consumo nos mercados industrial e geração elétrica.

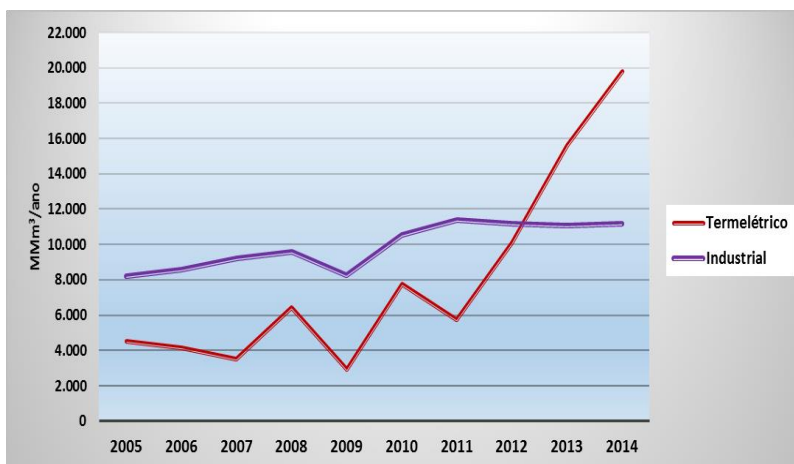


Figura 5: Evolução do consumo nos mercados industrial e geração elétrica
Fonte: Adaptado do BEN, 2015.

A partir da Tabela 1 e da Figura 5, podemos verificar que o consumo de gás natural para a indústria apresentou crescimento entre os anos de 2005 a 2008, com queda em 2009 em consequência da crise econômica mundial, porém a partir de 2010 até 2014 o consumo esteve praticamente constante. Por outro lado, o consumo para geração elétrica acompanhou os períodos de sazonalidade do regime pluviométrico entre os anos de 2007 a 2011, e a partir de então apresentou um grande crescimento devido ao longo período de estiagem que está vigorando ainda em 2015, principalmente na Região Sudeste. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2022 do Ministério de Minas e Energia, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, o governo continuará a investir no aumento da capacidade instalada do parque termelétrico, incluindo ainda térmicas movidas a outros combustíveis, caso a oferta de gás natural não seja suficiente.

3.3 Mercado de Gás Natural no Estado de Minas

A história da distribuição de gás natural no estado de Minas Gerais inicia-se com a fundação da GASMIG em 15 de julho de 1986, como uma unidade de negócios da Companhia Energética de Minas

Gerais (CEMIG), para ser uma alternativa energética no estado. Naquele ano, a Companhia iniciou suas atividades com a distribuição do biogás extraído da usina do aterro sanitário de Belo Horizonte. Esse projeto, além de ter contribuído para a capacitação de técnicos gasistas e a formação de mão-de-obra até então inexistente no estado, permitiu o atendimento a clientes comerciais próximos à usina, bem como de táxis e de veículos pertencentes à frota da Cemig. Devido ao esgotamento do biogás gerado pela usina, hoje ela encontra-se desativada (GASMIG, 2015).

A empresa passou a operar de forma independente depois da assinatura de um contrato de concessão de distribuição de gás natural com o Governo de Minas Gerais, em 1993 (GASMIG, 2015).

Em 1998, a GASMIG passou a atuar no setor de Gás Natural Veicular, tendo como clientes os postos de combustíveis para automóveis. Em 2001, passou a fornecer o combustível para a produção de energia elétrica à Usina Termelétrica de Juiz de Fora (GASMIG, 2015).

O ano de 2004 foi decisivo para o crescimento futuro da companhia, quando foi consumada a venda de 40% do capital social da GASMIG para a Gaspetro, empresa de participações da Petrobras, que é a principal supridora de gás do país (GASMIG, 2015).

Com a entrada da Gaspetro, foi elaborado um plano de expansão para incrementar o consumo de gás natural no estado, e, conseqüentemente, o faturamento da companhia. Assim, as duas acionistas assumiram a intenção de aportar recursos necessários para a construção de gasodutos de distribuição de gás natural, ampliando a abrangência Geográfica das redes no Estado de Minas Gerais (GASMIG, 2015).

No ano de 2014 a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) adquiriu 40% do capital social pertencentes a Gaspetro, ficando como seus acionistas a CEMIG (99,6%) e o Município de Belo Horizonte – PBH (0,4%).

De acordo com dados do Relatório Anual do ano de 2014 da GASMIG, o mercado de distribuição de gás natural no Estado de Minas Gerais acompanhou a tendência nacional com relação à estagnação do volume distribuído para o Segmento Industrial e um grande crescimento no volume distribuído para o Segmento Termelétrico. A Tabela 2 apresenta a evolução da Segmentação do Mercado de gás natural no Estado de Minas Gerais.

Tabela 2: Evolução da segmentação do mercado (mil/m³).

Fonte: Adaptado do Relatório Anual 2014 da GASMIG.

Segmento	2010	2011	2012	2013	2014
Industrial	629.953	990.927	1.000.100	998.256	1.039.975
Pequeno	7.963	9.198	9.025	7.439	8.449
Residencial	-	-	-	63	266
Automotivo	44.319	40.783	41.643	38.810	36.187
Cogeração e Geração	-	-	-	-	180
Termelétrico	279.536	24.360	272.323	443.292	446.756
Total	961.771	1.065.268	1.323.091	1.487.860	1.531.813

O setor industrial é o principal responsável pela viabilidade para investimentos na infraestrutura de distribuição de gás natural. Tendo em vista este fato, a GASMIG concluiu em 2010 as obras dos gasodutos do Vale do Aço, para atendimentos a principal zona industrial do Estado de Minas Gerais.

A Região do Vale do Aço-MG é conhecida internacionalmente em virtude das grandes empresas do setor siderúrgico que atuam na região como: VSB – Vallourec Sumitomo Brasil no município de Jeceaba, a Arcelor Mittal Brasil no município de João Monlevade, a Aperam Inox no município de Timóteo, a Usiminas no Município de Ipatinga e a Cenibra no município de Belo Oriente.

O gasoduto do Vale do Aço-MG foi construído para atendimento a esta importante região econômica do Estado, tendo um total de 330 km de extensão com início no município de São Brás do Suaçuí até o município de Belo Oriente. A grande extensão deste gasoduto traduz uma das particularidades da distribuição de gás natural no Estado de Minas Gerais, em que as grandes regiões consumidoras de energia se encontram em pontos distantes, exigindo assim grandes investimentos em infraestrutura para fornecimento de gás natural.

Segundo o Relatório Anual do ano de 2014 da GASMIG, o mercado industrial no Estado de Minas Gerais é marcado pelo predomínio de grandes consumidores, sendo que os 10 maiores consumidores da GASMIG se encontram no segmento industrial e são responsáveis por cerca de 68% de todo do volume não termelétrico consumido no Estado.

3.4 Características do Gás Natural

O gás natural bruto como encontrado na natureza, é uma mistura variada de diferentes hidrocarbonetos gasosos, cujo elemento predominante é o metano (CH_4). Formado por quatro átomos de hidrogênio e um átomo de carbono, o metano é o hidrocarboneto mais simples encontrado na natureza. Entre os hidrocarbonetos gasosos, o metano é o único que possui uma densidade menor do que a do ar ($0,679 \text{ kg/m}^3$), o que se mostra importante nas questões de segurança no manuseio do gás, já que na ocasião de vazamentos, o gás natural sobe e se dissipa no ar (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

A composição do gás natural pode variar de campo para campo, podendo ser classificado como gás associado e como gás não associado. O gás associado ocorre em jazidas cuja predominância é o petróleo, sendo o gás separado durante o processo de produção, passando este a ser considerado um coproduto, enquanto que o gás não associado é obtido em extensas quantidades diretamente do reservatório, sendo pequena a parcela de produção de petróleo nessas jazidas devido ao tipo de matéria orgânica que lhe deu origem (VIEIRA, 2005).

O petróleo e o gás natural possuem origem semelhante. Ambos são compostos pela mistura de hidrocarbonetos originados de pequenas frações de organismos marinhos e plantas que foram retirados da presença do oxigênio, sendo suas formações resultado do acúmulo de energia solar sobre matérias orgânicas soterradas a grandes profundidades (BAIRD e CANN, 2011).

Assim, as elevadas temperaturas e pressões às quais esses materiais enterrados foram submetidos contribuíram para sua decomposição posterior para formar hidrocarbonetos líquidos e gasosos. Apresenta inúmeras vantagens em relação aos demais combustíveis fósseis, principalmente no que se refere ao meio ambiente, como a baixa presença de contaminantes e o fato de seu processo de queima gerar baixo teor de óxido de enxofre (REIS, 2005).

O gás natural bruto apresenta também importantes quantidades de hidrocarbonetos gasosos mais pesados como propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}). Os hidrocarbonetos mais pesados podem ser separados do metano e comercializados como outros produtos, como, por exemplo, o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), que é produzido principalmente através da mistura de butano e propano (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

O gás natural que é disponibilizado para o consumidor final é um produto que já sofreu um tratamento em uma Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN), para separar as frações de hidrocarbonetos

pesados e também de outros componentes não hidrocarbonetos. O gás natural injetado na rede de transporte deve respeitar parâmetros de qualidade, que no Brasil, são especificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) através da Resolução nº16, de 17 de junho de 2008. A Tabela 3 mostra as características do gás natural comercializado no Brasil de acordo com a ANP.

Tabela 3: Parâmetros de qualidade do gás natural comercializado no Brasil.
Fonte: ANP, Resolução nº16.

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LÍMITE			MÉTODO			
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste, Sudeste e Sul	NBR	ASTM D	ISO	
Poder calorífico superior (4)	kJ/ m ³	34.000 a 38.400	35.000 a 43.000			15213	3588	6976
	kWh/m ³	9,47 a 10,67	9,72 a 11,94					
Índice de Wobbe (5)	kJ/m ³	40.500 a 45.000	46.500 a 53.500			15213	--	6976
Número de metano, mín. (6)		anotar (3)	65			--	--	15403
Metano, mín.	% mol.	68	85			14903	1945	6974
Etano, máx.	% mol.	12	12			14903	1945	6974
Propano, máx.	% mol.	3	6			14903	1945	6974
Butanos e mais pesados, máx.	% mol.	1,5	3			14903	1945	6974
Oxigênio, máx. (7)	% mol.	0,8	0,5			14903	1945	6974
Inertes (N ₂ +CO ₂), máx.	% mol.	18	8	6		14903	1945	6974
CO ₂ , máx.	% mol.	3				14903	1945	6974
Enxofre Total, máx. (8)	mg/m ³	70				--	5504	6326-3
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	mg/m ³	10	13	10		--	5504	6326-3
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx. (9)	°C	-39	-39	-45		--	5454	6327
Ponto de orvalho de hidrocarbonetos a 4,5 MPa, máx. (10)	°C	15	15	0		--	--	6570

A característica primordial que diferencia o gás natural dos demais combustíveis fósseis é sua queima mais limpa. A molécula de metano gera menor emissão de carbono (sob a forma de CO₂) por unidade de energia quando oxidada, uma vez que apresenta a maior relação de hidrogênio/carbono dentre todos os hidrocarbonetos. (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

3.5 Emissões dos Gases do Efeito Estufa Decorrentes da Queima de Combustíveis Fósseis

Segundo o 5º Relatório de Avaliação sobre Mudanças Climáticas (AR5 – Fifth Assessment Report) a influência humana sobre o sistema climático é clara, e o registro de emissões antrópicas de gases do efeito estufa recentes é o maior da história. As recentes mudanças climáticas tiveram impactos generalizados sobre os sistemas humanos e naturais.

O impacto global dos poluentes atmosféricos refere-se aqueles que podem afetar o planeta como um todo. O problema de maior importância causado pelo uso dos combustíveis fósseis é o efeito estufa, que pode ser definido como o acréscimo constante da temperatura média da Terra em consequência do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como o gás carbônico (CO_2), os clorofluorcarbonos (CFCs), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), etc. Estes gases são conhecidos como gases estufa e capturam parte da radiação infravermelha que a terra devolve para o espaço, provocando o aumento da temperatura atmosférica com as consequentes mudanças climáticas (NOBRE, 2008).

O efeito estufa é um fenômeno natural pelo qual a atmosfera se mantém em temperatura constante, possibilitando, com isso, a existência de vida no planeta. Para alcançar o equilíbrio térmico, a Terra emite para o espaço a mesma proporção de energia que recebe de radiação solar. A radiação incidente atravessa as diversas camadas da atmosfera e seu retorno ocorre na forma de radiações térmicas, que são absorvidas pelo dióxido de carbono, CO_2 . Somando-se ao processo natural, as atividades antrópicas resultam em contribuições adicionais de gases do efeito estufa, acentuando a concentração dos mesmos na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia que naturalmente já possuem (BNDES, 1999).

O gás do efeito estufa de maior importância é o dióxido de carbono que é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis. Quando em grande quantidade, o gás carbônico e outros poluentes acabam formando um filtro na atmosfera, durante o dia a Terra é aquecida pelo sol e à noite perde o calor armazenado tendo, por consequência, uma redução de temperatura. Entretanto, com a camada de poluentes presentes, o calor fica retido na Terra, provocando um aumento na temperatura média (MOREIRA, 2007).

A principal evidência do aquecimento global vem das medidas de temperatura de estações meteorológicas em todo o globo desde 1860. Os dados com a correção dos efeitos de "ilhas urbanas" mostra que o

aumento médio da temperatura foi de $0,6 \pm 0,2$ °C durante o século XX. Desde então, a concentração atmosférica de CO₂ passou de 280 ppm no ano de 1750 para 400 ppm em 2015, representando um incremento de aproximadamente 70% (IPCC, 2014).

A contínua emissão de gases do efeito estufa causará mais aquecimento e mudanças de longa duração em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos severos, invasivos e irreversíveis para as pessoas e os ecossistemas. Limitação das alterações climáticas exigiria reduções substanciais e sustentadas nas emissões de gases do efeito estufa, que, juntamente com a adaptação, pode limitar os riscos das mudanças climáticas (IPCC, 2014).

Segundo a Agência Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) pela primeira vez desde que medimos a concentração de dióxido de carbono na atmosfera global, a concentração mensal deste gás do efeito estufa ultrapassou 400 ppm, em março de 2015. Os dados mostram que a taxa média de crescimento de concentração de dióxido de carbono na atmosfera 2012-2014 foi de 2,25 ppm por ano, o maior já registrado ao longo de três anos consecutivos.

A temperatura da superfície deverá aumentar ao longo do século 21 em todos os cenários de emissões avaliadas. É muito provável que as ondas de calor ocorram com mais frequência e durem mais tempo, e que os eventos extremos de precipitação vão se tornar mais intensas e frequentes em muitas regiões. O mar vai continuar a aquecer e a acidificar e seu nível global a subir (IPCC 2014).

Adaptação e mitigação são estratégias complementares para reduzir e gerir os riscos da mudança climática. Reduções substanciais de emissões ao longo das próximas décadas podem reduzir os riscos climáticos no século 21, aumentar as perspectivas de adaptação eficaz e reduzir custos e desafios de mitigação em longo prazo (IPCC 2014).

O aumento das emissões de CO₂ estão relacionadas ao forte aquecimento de economias de países emergentes com bases energéticas no carbono e a contínua manutenção das emissões dos países industrializados durante a década atual. O aumento da concentração dos gases de efeito estufa tem acompanhado os cenários de mais altas taxas de emissões (CANADELL, 2007).

Todas essas alterações de temperaturas (e também do nível dos oceanos) vêm sendo modeladas em função do aumento da concentração de GEE na atmosfera. São projetados aumentos de temperatura de 2,0 a 4,0°C para o ano 2100 em relação a 1980-1999 (WORLD BANK, 2014).

Segundo Pinheiro (2005) o CO₂ é considerado o gás do efeito estufa mais importante em termos de volume, de forma que todos os outros gases têm seus potenciais de aquecimento global expressos em equivalência. O período usualmente utilizado para fazer as comparações (de equivalência) é de 100 anos.

A Tabela 4 mostra as principais atividades humanas responsáveis pelas emissões e o potencial de aquecimento global dos gases do efeito estufa mais relevante.

Tabela 4 - Gases do efeito estufa, nomenclatura, principais fontes de emissão e seu potencial de aquecimento global.

Fonte: Pinheiro, 2005.

Gases do Efeito Estufa	Fórmula	Principais atividades humanas responsáveis pelas emissões destes gases	Potencial de Aquecimento Global, 100 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	- Queima de combustíveis fósseis (gás natural, carvão mineral, petróleo e derivados). - Queima em florestas	1
Metano	CH ₄	- Extração, transporte e distribuição de combustíveis fósseis (emissões fugitivas). - Combustão incompleta de combustíveis fósseis. - Decomposição de resíduos líquidos e sólidos. - Produção de animais.	23
Óxido Nitroso	N ₂ O	- Combustão de combustíveis fósseis. - Atividades agrícolas (principalmente pela adição de fertilizantes nitrogenados). - Processos industriais.	296
Ozônio	O ₃	- Formado na baixa atmosfera a partir de outros poluentes gerados pela combustão de combustíveis fósseis.	-
Halocarbonos	diversas	- Vazamentos em equipamentos que utilizam CFCs ou HFCs - Processos industriais	120-12.000
Hexafluoreto de Enxofre	SF ₆	- Usado como isolante em equipamentos elétricos - Processos industriais	22.200

Conforme as informações da Tabela 4, todos os gases possuem Potencial de Aquecimento Global superior ao do dióxido de carbono. No entanto, este é o gás que mais contribui para a intensificação do efeito estufa e, conseqüentemente, para a elevação da temperatura

global. Isso se deve ao fato do volume de suas emissões contribuírem com 55% do total dos lançamentos de gases do efeito estufa e o tempo de sua permanência na atmosfera é superior a 100 anos (BNDES, 1999).

A transformação de energia em força motriz é responsável por 25% do total dos gases do efeito estufa e na última década, a taxa de crescimento foi de 2,2% ao ano. Nos países em desenvolvimento, as emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis apresentam um ritmo de crescimento mais elevado frente ao dos desenvolvidos (STERN, 2006).

Se as emissões de gases do efeito estufa continuarem no ritmo atual ou até mais intenso, não apenas haverá um maior aquecimento, mas também haverá mudanças duradouras no clima da Terra. Essas mudanças provavelmente causarão impactos severos e significativos nos ecossistemas e nas pessoas. Os danos das mudanças climáticas serão maiores para pessoas e comunidades desprivilegiadas, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Além disso, várias espécies de plantas, pequenos mamíferos e organismos marinhos enfrentam maior risco de extinção (IPCC, 2014).

De acordo com o IPCC 2014 as mudanças climáticas estão ocorrendo e as atividades humanas são a principal causa, com os gases do efeito estufa apresentando os níveis mais altos de que se tem registro na história. A principal causa das mudanças climáticas observada nos últimos anos se deve provavelmente aos elevados níveis de emissões de dióxido de carbono CO₂.

A fonte do maior nível de emissões de CO₂ são relativas as atividades humanas, sendo que 78% do CO₂ provém da queima de combustíveis fósseis e usos industriais. Contudo, mudanças no uso da terra – o desaparecimento de florestas – também são um fator importante. Parte do CO₂ é absorvida pelo oceano, tornando-o mais ácido. No geral, a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera é a maior já vista nos últimos 800.000 anos. Como resultado, a Terra está aquecendo, geleiras e calotas polares estão derretendo, e o nível do mar está subindo. Essas mudanças têm afetado muito tanto sistemas humanos como naturais (IPCC 2014).

As emissões anuais de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis e da produção de cimento foram em média de 8,3 [7,6 a 9,0] GtC/ano no período 2002–2011 e de 9,5 [8,7 a 10,3] GtC/ano em 2011, 54% superiores ao nível de 1990. As emissões anuais líquidas de CO₂ de alterações do uso da terra pelo homem foram em média de 0,9 [0,1 a 1,7] GtC/ano de 2002 a 2011 (IPCC 2014).

Em 2014, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 485,2 MtCO₂-eq, destas o setor industrial foi responsável pela emissão de 89,7 milhões de toneladas de CO₂, conforme Figura 6.

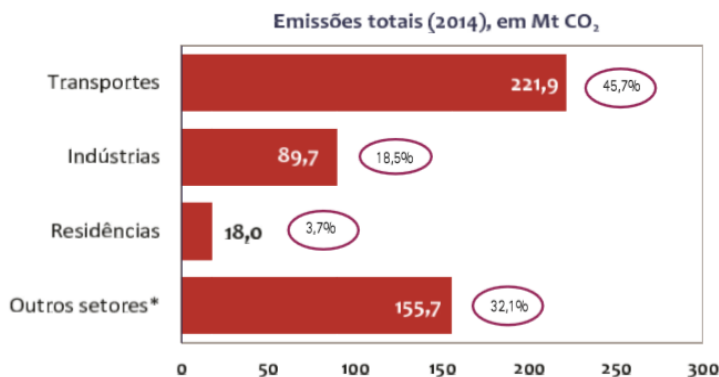
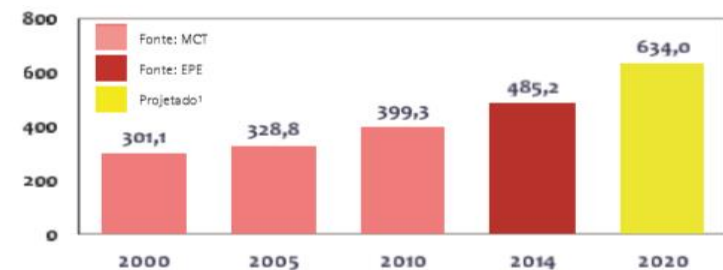


Figura 6: Total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira.
Fonte: BEN, 2015.

A Figura 7 apresenta a evolução das emissões de CO₂ associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂-eq.



Crescimento Emissões Totais - MtCO ₂ eq		
Indicador	Realizado	Projetado¹
	2000 a 2014	2000 a 2020
Taxa Média de Crescimento Anual	3,5%	3,8%

Figura 7: Evolução das emissões totais antrópicas associadas à matriz energética brasileira em MtCO₂-eq.
Fonte: BEN, 2015.

3.6 Legislação e Regulamentação Ambiental

Segundo Rutheford (1997) a Sustentabilidade Ambiental aponta que a maior preocupação são os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, indicando a redução na utilização de combustíveis fósseis, a diminuição das emissões de substâncias poluentes, adoção de políticas de conservação de energia e de recursos como o caminho para ser alcançando o progresso em direção a sustentabilidade, sendo esta uma escolha da sociedade, das organizações, das comunidades e dos indivíduos.

Neste contexto na cidade de Quioto, no Japão, no ano de 1997 foi redigido e assinado o Protocolo de Quioto, um acordo internacional entre os países que fazem parte da Organização das Nações Unidas com o objetivo de reduzir as emissões de gases, criando diretrizes para amenizar o impacto ambiental. O Protocolo de Quioto define como meta para mais de cinquenta países reduzirem suas emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), em média, 5,2% em relação aos níveis de 1990 para o período de vigência do Protocolo 2008-2012 (ROCHA, 2009).

A criação do Protocolo de Quioto foi alavancada pelo crescimento na degradação dos recursos ambientais que se observou nas últimas décadas, em especial pelo aumento da emissão dos GEE, que advém em larga medida, da incapacidade dos sistemas econômicos de garantir e estimular o uso eficiente destes recursos. Os GEE estão associados diretamente ao aumento da temperatura da superfície da Terra, pois estes retêm calor proveniente do sol e que seria devolvido ao espaço, resultando no aquecimento global (ROCHA, 2009).

Pelo Protocolo de Quioto os países considerados “industrializados” que mais contribuíram historicamente para o acúmulo de gases na atmosfera têm obrigação maior de reduzir suas emissões. Comparado aos países em desenvolvimento, inserindo neste contexto o Brasil, estes não possuem obrigações de redução das emissões, todavia, devem implementar sistemas de desenvolvimento sustentável, buscando discutir e combater a mudança do clima, bem como adaptar-se aos seus efeitos. As reduções das emissões dos gases devem acontecer em várias atividades econômicas, especialmente nas de energia e transportes (SISTER, 2007).

Em 2001 ocorreu a desistência dos Estados Unidos do acordo, com a alegação que o pacto era muito caro e excluía de maneira injusta os países em desenvolvimento. Este protocolo entrou em vigor somente em fevereiro de 2005, após a ratificação da Rússia, e suas metas deveriam ter sido atingidas entre os anos de 2008 e 2012 (ROCHA, 2009).

A Figura 8 apresenta o cenário de adesão e emissões após os dez anos de entrada em vigor do Protocolo de Quioto.

DEZ ANOS DO PROTOCOLO DE KYOTO

Adesão de países ao acordo

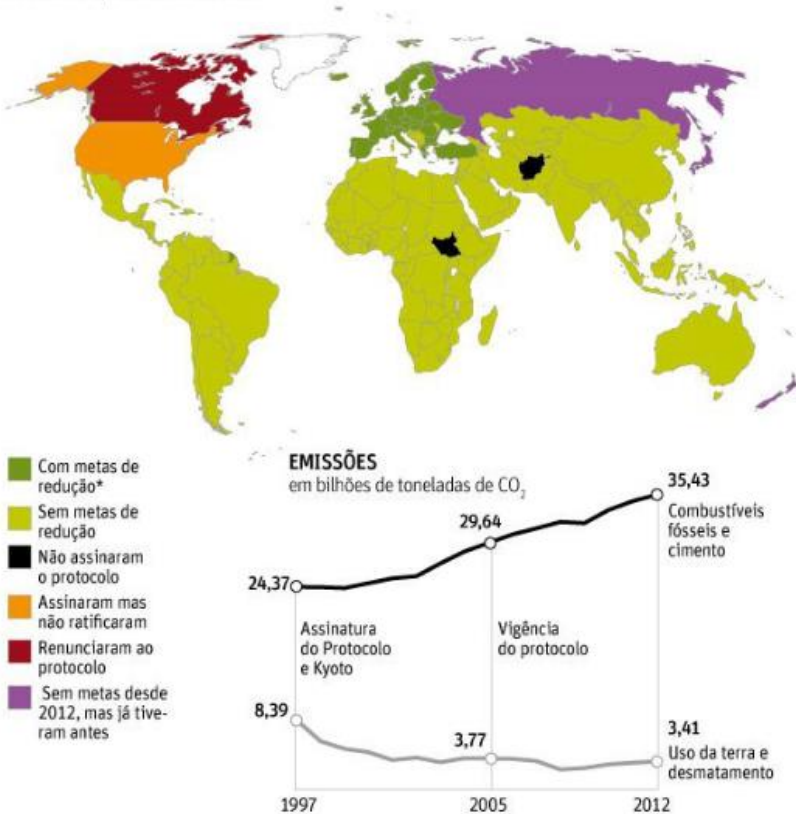


Figura 8: Adesão dos países ao acordo e a evolução das emissões de CO₂.

Fonte: CAIT, 2014.

Além das metas de redução de emissões, o Protocolo de Quioto estabeleceu, entre outros, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo nasceu de uma proposta brasileira à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Trata-se do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de sequestro ou mitigação (HOPPE, 2009).

O Protocolo de Kyoto prevê os “Mecanismos de Desenvolvimento Limpo” no artigo 12:

O objetivo do MDL deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3. Sob o MDL: a) As partes não incluídas no Anexo I beneficiar-se-ão de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões e; b) As Partes incluídas no Anexo I podem utilizar as reduções certificadas de emissões, assumidos no artigo 3, como determinado pela Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo (Protocolo de Kyoto, 1997).

O MDL é um instrumento de flexibilização que permite a participação no mercado dos países em desenvolvimento, ou nações sem compromissos de redução, como o Brasil. Os países que não conseguirem atingir suas metas terão liberdade para investir em projetos MDL de países em desenvolvimento. Através dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO₂ equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos (HOPPE, 2009).

O Projeto MDL tem como objetivo remover os gases do efeito estufa da atmosfera. A redução de cada tonelada de carbono equivalente gera uma RCE, ou seja, uma unidade de Redução Certificada de Emissões. Neste caso, os países que não conseguissem atingir suas metas teriam liberdade para investir em projetos MDL de países em desenvolvimento. Através dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO₂ equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos (ROCHA, 2009).

Na forma dos dados da Organização das Nações Unidas (ONU), o número de projetos registrados no Conselho Executivo do MDL totaliza 1.197 em todo o mundo, dos quais 146 estão no Brasil. A região Sudeste lidera com o maior número de projetos, com destaque para os estados de São Paulo (21% do total nacional) e Minas Gerais (14%). Em seguida, em termos de participação nacional, aparecem Mato Grosso e Rio Grande do Sul, com 9% cada. Importa salientar que é possível a

utilização das reduções certificadas de emissões neste mecanismo que tenham sido obtidas durante o período compreendido entre 2000 e 2008 para auxiliar no cumprimento da redução estabelecida durante o período de prova entre 2008 e 2012 (ROCHA, 2009).

No âmbito nacional a legislação federal brasileira que regulamenta a qualidade do meio ambiente, relacionando-a com a poluição do ar, das águas e do solo, teve início com o Decreto Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975, na década de 1980 foi criada a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) que era constituído por órgãos que detinham a responsabilidade pela proteção e melhoria da qualidade do ambiente. Além disso, essa lei também instaurava a criação de um conselho chamado de Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que foi instaurado como um órgão legislador, sendo este responsável pelas diretrizes federais básicas emitidas através de resoluções (MAGRINI et al, 2005).

Com base nas competências a ele atribuídas pela Lei nº 6.938/1981, o CONAMA vem estabelecendo, por meio de resoluções, as normas para o controle da emissão de poluentes do ar por fontes fixas e móveis.

Resolução CONAMA no 005, de 15/06/89: estabelece o PRONAR – Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar, com o objetivo de limitar os níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a uma melhoria na qualidade do ar, atendimento aos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não-degradadas.

Resolução CONAMA nº 003, de 28/06/90: estabelece os padrões de qualidade do ar.

Resolução CONAMA nº 008, de 06/12/90: estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas como: caldeiras, geradores de vapor, centrais para geração de energia elétrica, fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração de uso de energia térmica, incineradores e gaseificadores.

Resolução CONAMA nº 297, de 26/02/02: estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos.

Resolução CONAMA nº 342, de 25/09/03: estabelece novos limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos, em observância à Resolução nº 297, de 26 de fevereiro de 2002, e dá outras providências.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho enfatiza o levantamento do quantitativo de emissões de dióxido de carbono CO_2 evitadas, comparando as emissões geradas pelas indústrias siderúrgicas e papel celulose através do uso real do gás natural e as que teriam sido geradas com os combustíveis fósseis utilizados anteriormente, como óleo combustível, óleo diesel e GLP.

Esta avaliação foi realizada durante o período de 2010 a 2014, tendo como base o saldo das emissões de poluentes, considerando a diferença entre as emissões estimadas de CO_2 geradas pelo combustível anterior e as emissões causadas pelo gás natural.

O fluxograma da Figura 9 apresenta, de forma resumida, a metodologia adotada no desenvolvimento neste trabalho.

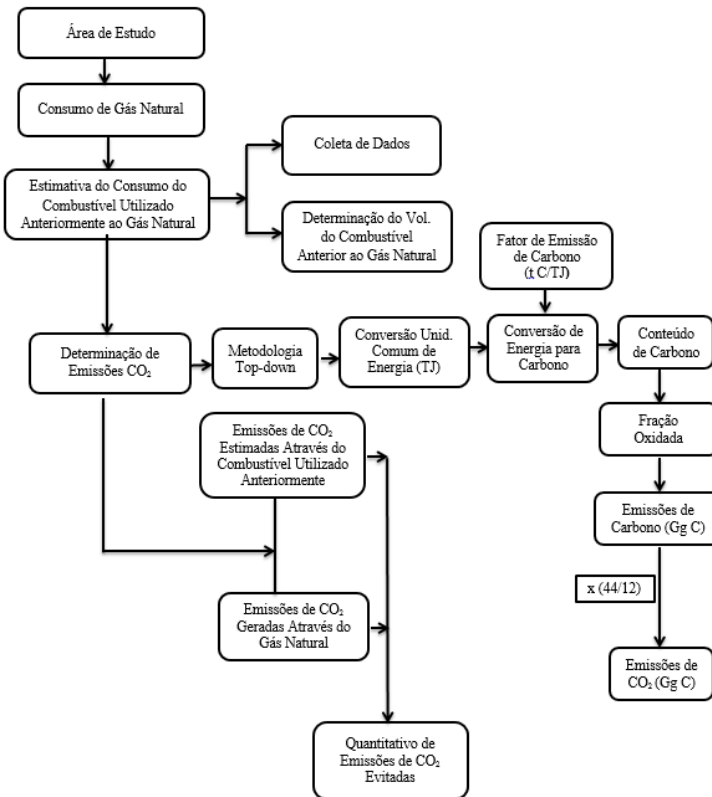


Figura 9: Metodologia utilizada na execução do presente trabalho.

4.1 Área de Estudo

A Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA) é um dos maiores polos industriais de Minas Gerais, instituída pela lei complementar nº 51, 30 de dezembro de 1998, passou a receber a denominação de Região Metropolitana do Vale do Aço-RMVA, onde estão localizadas indústrias siderúrgicas e uma indústria de extração de celulose, além de diversas micro e pequenas empresas.

A presente pesquisa foi realizada nas 05 indústrias do segmento siderúrgico de papel e celulose da Região do Vale do Aço-MG, que receberam o gás natural a partir de 2010, após a construção do maior projeto de gasoduto de distribuição do país. As indústrias selecionadas são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo de gás natural no Estado de Minas Gerais. A utilização do gás natural em substituição aos combustíveis fósseis mais poluentes, como óleo combustível, óleo diesel e GLP, garantiu maior competitividade a estas indústrias, através de ganhos logísticos e benefícios ambientais.

A Figura 10 apresenta os municípios e as indústrias da Região Metropolitana do Vale do Aço-MG, atendidos com o fornecimento de gás natural pela GASMIG.

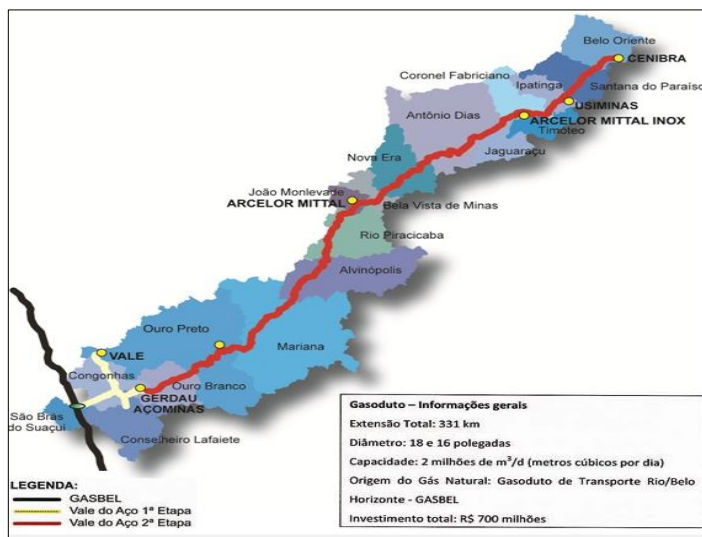


Figura 10: Mapa esquemático dos municípios e das indústrias da Região Metropolitana do Vale do Aço-MG, atendidos com o fornecimento de gás natural pela GASMIG.

Fonte: GASMIG, 2015.

4.2 Consumo de Gás Natural

O Consumo de gás natural representa o volume de gás natural comercializado pela GASMIG, no período de 2010 a 2014 para atendimento as indústrias da Região do Vale do Aço-MG.

4.3 Estimativa do Consumo do Combustível Utilizado Anteriormente ao Gás Natural

4.3.1 Coleta de Dados

A coleta de dados ocorreu através de pesquisas exploratórias, por meio de entrevistas realizadas através do envio do formulário aos entrevistados via e-mail, contendo 06 perguntas abertas. O questionário enviado bem como as respostas estão no apêndice A e B respectivamente.

Através das respostas obtidas no questionário, foi possível identificar o combustível utilizado anteriormente ao gás natural e a eficiência do processo de combustão dos consumidores industriais pesquisados, dos segmentos de Siderurgia e Celulose da região estudada. O público pesquisado era composto por engenheiros e técnicos responsáveis pelos processos industriais do setor de energia. Todas as industriais pesquisadas responderam o questionário, sendo que, apenas uma das entrevistadas não respondeu à questão referente à eficiência do processo de combustão.

De acordo com a análise das respostas dos entrevistados, foi constatada que o gás natural possui uma melhor eficiência de combustão que o combustível anteriormente utilizado (óleo combustível, óleo diesel e GLP). No caso do entrevistado que não informou a eficiência do processo de combustão, as eficiências foram, dentro do trabalho, consideradas iguais para ambos os processos de combustão. A aplicação de igualdade entre as eficiências possui um caráter conservador, visto que no processo de combustão o estado gasoso do gás natural, permite que este combustível tenha uma área superficial maior de contato com a chama, fato que aumenta a eficiência do processo.

4.3.2 Determinação do Volume do Combustível Anterior ao Gás Natural

A partir do consumo de gás natural fornecido pela GASMIG para uso como combustível fóssil para as indústrias siderúrgicas e papel celulose da Região do Vale do Aço-MG, estimou-se o volume do combustível consumido anteriormente ao gás natural.

Segundo VIEIRA (2005) os valores de consumo dos combustíveis, podem ser obtidos considerando a equivalência energética dos combustíveis e a demanda energética do processo, ou seja, a energia requerida por determinada indústria e que deve ser fornecida para realização do processo de combustão. A energia requerida a ser disponibilizada para o processo industrial independe do combustível utilizado, sendo a energia requerida com o combustível anterior a mesma requerida com a utilização do gás natural, conforme Equações 1 e 2:

$$E_{Comb.Ant.} = E_{GN} \quad (1)$$

$$PCI_{Comb.Ant.} * V_{Comb.Ant.} * \eta_{Comb.Ant.} = PCI_{GN} * V_{GN} * \eta_{GN} \quad (2)$$

Sendo:

E é a energia requerida no processo de combustão;

PCI é o poder calorífico inferior do combustível utilizado;

V é o volume/tempo do combustível;

η a eficiência térmica do processo de combustão.

Os índices Comb.Ant. e GN indicam que os valores referem-se ao combustível utilizado antes da troca para o gás natural e depois da troca para o gás natural, respectivamente.

Segundo o IPCC 2006, a utilização do parâmetro Poder Calorífico Inferior (PCI) é devido a esse parâmetro corresponder aos processos de troca térmica que, efetivamente, ocorrem durante a combustão nos processos industriais, já que, na prática, os processos são realizados à pressão constante e a água é liberada no estado de vapor.

O combustível utilizado anteriormente (óleo combustível, óleo diesel e GLP) é conhecido, assim como seu PCI através de referência bibliográfica.

Para o gás natural tem-se o volume consumido, bem como o PCI do gás distribuído no Estado de Minas Gerais. A Equação 2 apresenta,

assim, três incógnitas: o volume do combustível utilizado anteriormente ao gás natural, a ser determinado, a eficiência térmica de combustão antes da troca para o gás natural e a eficiência térmica de combustão após a troca para o gás natural.

Para determinação das eficiências, foi elaborado um questionário as indústrias, a fim de se identificar as eficiências inerentes a cada processo industrial. A Equação 3 demonstra o cálculo para determinação do volume do combustível utilizado anteriormente e na Tabela 5 são mostrados a densidade e o poder calorífico inferior dos combustíveis analisados.

$$V_{Comb.Ant.} = \frac{PCI_{GN} * V_{GN} * \eta_{GN}}{PCI_{Comb.Ant.} * \eta_{Comb.Ant.}} \quad (3)$$

Tabela 5 – Densidade e poder calorífico inferior dos combustíveis
Fonte: BEN, 2015.

Combustível	Densidade (kg/m ³)	PCI (kcal/kg)
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	552	11.100
Óleo Combustível	1.000	9.590
Óleo Diesel	840	10.100
Gás Natural ^{1,2}	0,75	8.490

¹ À temperatura de 20°C

² kcal/m³

4.4 Determinação das Emissões de Dióxido de Carbono CO₂

O procedimento para a determinação das emissões de CO₂, antes e depois da conversão para o gás natural, será em função do conteúdo energético do combustível. O cálculo das emissões seguiu a metodologia Top-down, indicada para a construção de inventários nacionais dos gases responsáveis pelo efeito estufa, recomendado pelo IPCC (2006) e aplicado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia -MCT (Brasil, 2010) e BEN – Balanço Energético Nacional.

Neste trabalho foram seguidos os seguintes passos definidos pela metodologia Top-down do IPCC:

- Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais.

- Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum (terajoules (TJ)).
- Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível.
- Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão.
- Conversão da quantidade de carbono oxidado em emissões de CO₂.

Para as estimativas de emissão de CO₂ provenientes da combustão foram utilizados os fatores de emissão e fração de carbono oxidado proposto pelo IPCC em 2006, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Fatores de emissão de carbono e fração de carbono oxidada.
Fonte: IPCC, 2006 e MCT, 2010.

Combustível	Fatores de Emissão de Carbono	Fração de Carbono Oxidada
Óleo Diesel	20,2	0,99
Óleo Combustível	21,1	0,99
GLP	17,2	0,99
Gás Natural Seco	15,3	0,995

4.4.1 Conversão para Unidade Comum de Energia

O consumo aparente de cada combustível, medido na sua unidade original será convertido para uma unidade comum de energia. A unidade comum de energia adotada pelo IPCC é o terajoule (TJ).

No Brasil o Balanço Energético Nacional (BEN) expressa as quantidades dos combustíveis em toneladas equivalentes de petróleo (tep). A tep representa a energia contida em uma tonelada do petróleo médio consumido que é função do tipo de petróleo adotado como padrão, que corresponde a 10.000 Mcal ou $41,868 \times 10^{-3}$ TJ.

A Equação 4 demonstra a conversão da quantidade de toneladas equivalentes de petróleo (tep) para uma unidade comum de energia (TJ).

$$Tep = 10.000 \text{ MCal} = 41,868 \times 10^{-3} \text{ (TJ)} \quad (04)$$

A Tabela 7 apresenta os coeficientes de equivalência médios dos combustíveis e o fator de correção, utilizados para conversão do consumo medido na sua unidade original para a unidade comum de energia (TJ).

Tabela 7 – Coeficientes de equivalência médios e fatores de correção para os combustíveis.

Fonte: BEN, 2015

Combustível (m ³)	Tep (toe) (10 ⁴ kcal/kg)	Fator de Correção Tep/TJ
GLP	0,611	41,868x10 ⁻³
Óleo combustível	0,957	41,868x10 ⁻³
Óleo diesel	0,848	41,868x10 ⁻³
Gás Natural (10 ³ m ³)	0,88	41,868x10 ⁻³

4.4.2 Cálculo da Energia e Emissões de CO₂

A quantidade de energia contida no combustível aproveitável no processo de combustão, é determinada pela Equação 5. Nessa equação, a quantidade consumida por ano de cada combustível é multiplicada pelo seu poder calórico inferior.

$$E_{Comb.(TJ.ano^{-1})} = \frac{Consumo_{(t.ano^{-1})} * 10^3 * PCI_{(MJ.Kg^{-1})}}{10^6} \quad (05)$$

Sendo:

$E_{Comb.}$ é a energia contida em determinado volume de combustível, dada em em TJ.ano⁻¹;

Consumo é a quantidade consumida por ano de cada combustível em t.ano⁻¹;

PCI é o poder calorífico inferior do combustível, em MJ.kg⁻¹.

O fator 10⁶ é utilizado para converter as energias obtidas de MJ para TJ.

O cálculo de emissão de carbono expresso em Giga gramas de Carbono por ano (Gg C. ano⁻¹), é realizado pelo produto entre a energia contida no combustível consumido em um determinado ano, pelo fator de emissão de carbono (FE em tC.TJ⁻¹) específico, para cada tipo de combustível e a fração oxidada, conforme Equação 6.

$$Emiss\tilde{a}o_{(GgCO_2ano^{-1})} = \frac{FE_{(t.C.TJ^{-1})} * E_{Comb.(TJ.ano^{-1})}}{10^3} * \varphi * \frac{44}{12} \quad (06)$$

Sendo:

Emiss\tilde{a}o é a emissão de carbono do combustível em GgCO₂. ano⁻¹;

FE é o coeficiente de emissão de carbono, específico para cada tipo de combustível em tC.TJ⁻¹;

E_{Comb.} é a energia contida no combustível consumido em um determinado ano, em TJ.ano⁻¹;

φ é a fração oxidada da combustão do combustível.

O fator 1000 converte tC para GgC e, para expressar os resultados, em CO₂, ao invés de carbono (C), multiplica-se as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do carbono, isto é 44/12.

4.4.3 Quantitativo de Emissões de CO₂ Evitadas

Para o levantamento do quantitativo de emissões de CO₂ evitadas considerou-se o saldo da emissão, ou seja, a diferença entre as emissões estimadas causadas pelo combustível utilizado anteriormente ao gás natural e as emissões causadas pelo gás natural durante o período estudado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Consumo de Gás Natural

Segundo Braga e Almeida (2014) o mercado industrial de gás natural em Minas Gerais teve um aumento expressivo de 1996 a 2011, saltando de um patamar de aproximadamente 0,19 MMm³/dia para 2,63 MMm³/dia, impulsionado pelos setores metalúrgicos e siderúrgicos, os quais se concentram, principalmente, na região denominada Vale do Aço-MG.

No período de 2010 a 2014, o consumo de gás natural pelas indústrias da Região do Vale do Aço-MG foi crescente passando de 49,6 milhões de m³ para 398,6 milhões de m³ consumidos por ano. Através da Figura 11, pode-se visualizar o aumento expressivo do consumo de gás natural nos últimos anos na região estudada, expressos em unidade comum de energia (TJ).

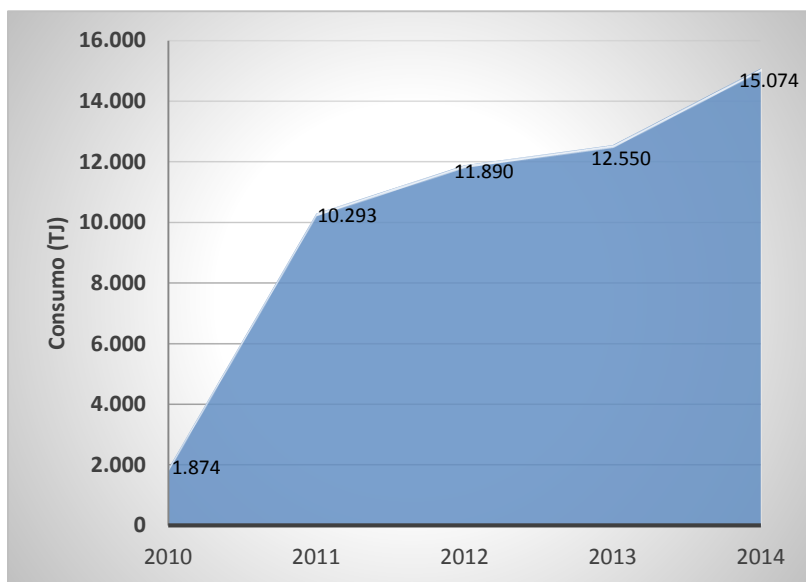


Figura 11: Consumo de gás natural pelas indústrias da Região do Vale do Aço-MG.

Fonte: O autor, 2015.

5.2 Consumo do Combustível Anterior

A partir da metodologia apresentada, ou seja, considerando o consumo de gás natural medido e faturado pela GASMIG, estimou-se o consumo do combustível anterior utilizado pelas indústrias da Região do Vale do Aço-MG no período de 2010 a 2014.

A Figura 12 apresenta a participação de cada combustível utilizado anteriormente ao gás natural na matriz energética das indústrias da Região do Vale do Aço-MG.

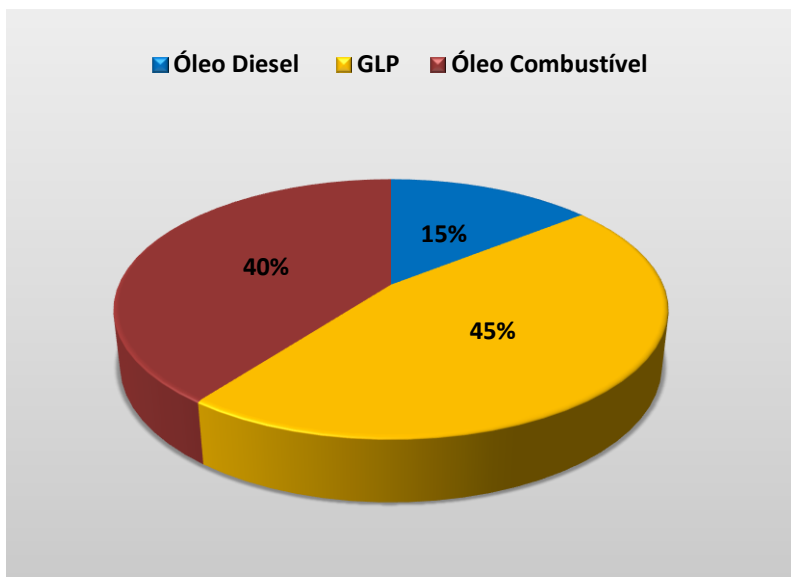


Figura 12: Participação dos combustíveis na matriz energética das indústrias da Região do Vale do Aço-MG anteriormente ao gás natural.

Fonte: O autor, 2015.

Observa-se que o óleo combustível e GLP eram os combustíveis mais representativos na matriz energética das indústrias siderúrgicas e de papel celulose da Região do Vale do Aço-MG, com respectivamente 40 e 45% do consumo energético industrial, sendo que o óleo diesel representava apenas 15% do consumo do processo industrial, anteriormente a utilização do gás natural.

O consumo estimado do combustível anterior no período de 2010 a 2014, expressos em unidade comum de energia (TJ) é mostrado na Figura 13.

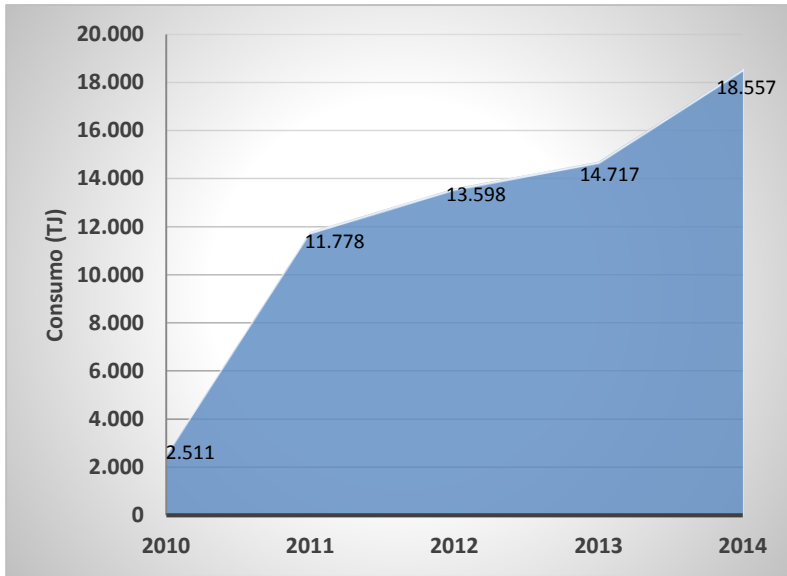


Figura 13: Consumo estimado para o combustível utilizado anteriormente no período de 2010 a 2014.

Fonte: O autor, 2015.

5.3 Emissões de Dióxido de Carbono CO₂

Com base no consumo energético do gás natural e o estimado para os combustíveis anteriores, quantificou-se através da metodologia Top-down do IPCC, as emissões atmosféricas de CO₂.

Os passos necessários definidos pela metodologia Top-down para obtenção do resultado final foram dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Passos da metodologia Top-down para obtenção do resultado final de quantificação das emissões de CO₂.

Fonte: O autor, 2015.

Combustível	Consumo TJ	Fator de Emissão de carbono (tC/TJ)	Conteúdo de Carbono (t C)	Fração Oxidada	Emissão de Carbono (t C)	Emissão de Carbono (Gg C)	Emissão de CO ₂ (Gg CO ₂)
Gás Natural	51.658	15,3	790.364	0,995	786.412	786,4	2.883,5
Óleo Diesel	8.752	20,2	176.786	0,99	175.018	175,0	641,7
GLP	28.153	17,2	484.231	0,99	479.389	479,4	1.757,8
Óleo Combustível	24.255	21,1	511.782	0,99	506.664	506,7	1.857,8

Os valores calculados representam as emissões de CO₂ geradas através do uso real do gás natural pelas indústrias da Região do Vale do Aço-MG, no período de 2010 a 2014 e a estimada que teriam sido geradas caso fossem utilizados os combustíveis utilizados anteriormente.

Nas Figuras 14, 15 e 16 são demonstradas as emissões decorrentes da utilização do gás natural em relação ao óleo combustível, óleo diesel e GLP.

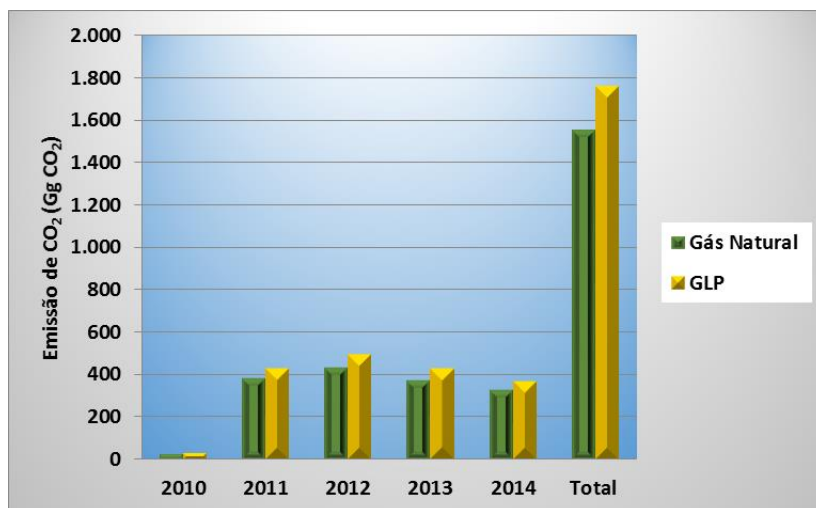


Figura 14: Comparativo das emissões de CO₂ do gás natural em relação ao GLP
Fonte: O autor, 2015.

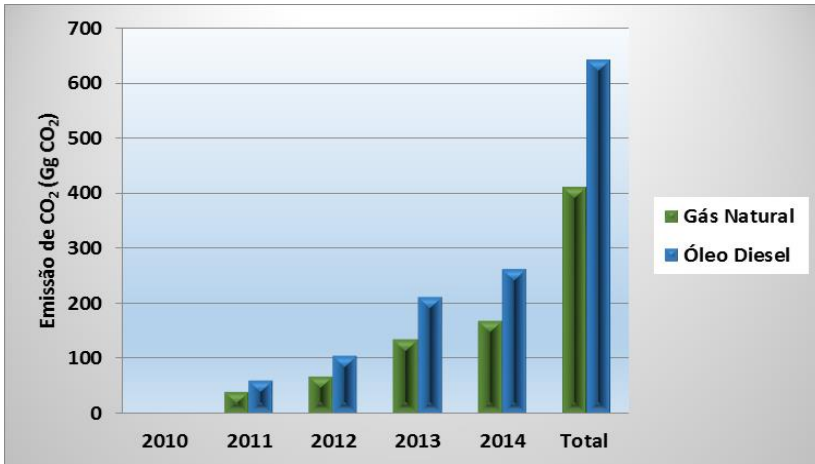


Figura15: Comparativo das emissões de CO₂ do gás natural em relação ao óleo diesel.

Fonte: O autor, 2015.

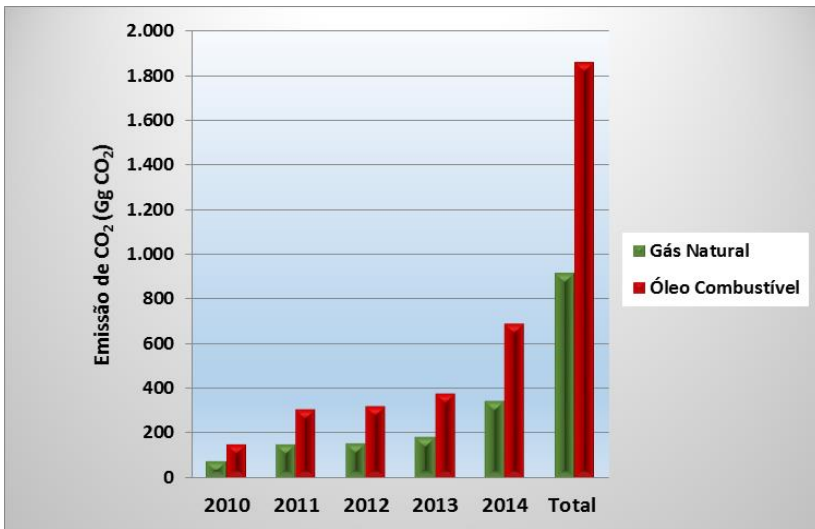


Figura16: Comparativo das emissões de CO₂ do gás natural em relação ao óleo combustível.

Fonte: O autor, 2015.

De acordo com SILVA (2010) O gás natural apresenta uma grande vantagem com relação a emissão de gases de efeito estufa em substituição a outros combustíveis fósseis, pois permite a redução nas emissões de CO₂. A emissão de CO₂ oriundas da combustão do gás natural é cerca de 20 a 30% menor que do óleo combustível e 40% a 50% menor quando comparada com as emissões provocadas pelos combustíveis sólidos.

Segundo VIEIRA (2005) a substituição do óleo combustível pelo gás natural em 2003, realizado pelo setor químico/petroquímico no Estado da Bahia, permitiu a redução de 55% da emissão de dióxido de carbono CO₂.

Pode se observar que a substituição da utilização do óleo combustível em favorecimento ao gás natural como insumo energético, foi o que mais contribuiu para a redução das emissões de CO₂ entre 2010 e 2014, sendo responsável por cerca de 1 milhão de toneladas de CO₂, ou seja aproximadamente 68% das emissões totais de CO₂ evitadas.

Através da Tabela 9, pode ser visto os benefícios associados à utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados anteriormente, nela são apresentadas as emissões evitadas decorrentes da utilização do gás natural em relação a outros combustíveis mais poluentes.

Tabela 9 – Emissões de CO₂ Evitadas pelo uso do gás natural no período de 2010-2014.

Combustível/Período	Emissões de CO ₂ (Gg CO ₂)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2010-2014
Gás Natural	104,6	574,3	663,4	700,2	841,1	2.883,5
Combustíveis Util. Anteriormente	185,1	801,6	924,5	1.020,6	1.325,4	4.257,3
Emissões de CO₂ Evitadas	80,5	227,3	261,1	320,4	484,4	1.373,7

Fonte: O autor, 2015.

Conforme MONTEIRO (2010) o gás natural pelas suas características químicas comparado aos outros combustíveis fósseis emite menor quantidade de CO₂, sendo o fator de emissão de carbono, primordial para esta diferença. Nos combustíveis gasosos esse valor, que

é multiplicado pelo consumo, em TJ, varia de 15,3 (gás natural) para 17,2 (GLP). No caso do óleo combustível o fator de emissão de carbono atingi o valor de 21,1. Sendo menor o fator de emissão de carbono, menor é o valor de gás carbônico emitido.

A partir da Tabela 9 é possível observar que ao considerar a utilização dos outros combustíveis fósseis, óleo combustível, óleo diesel e GLP, os quais eram utilizados antes da conversão ao gás natural, houve uma redução considerável nas emissões de CO₂. O que demonstra a teoria de que o gás natural é realmente o mais “limpo” dos combustíveis fósseis e dentre estes o que emite menos gás carbônico.

As emissões evitadas obtidas de gás carbônico de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas no período de 2010 a 2014, oriundas da utilização do gás natural foram bastante significativas e equivale a aproximadamente a 2%, do total de emissões antrópicas associadas à matriz energética industrial brasileira em 2014, que de acordo com BEN (2015) foi de 89,7 milhões de toneladas de CO₂.

De acordo com a proposta de MDL estabelecido no protocolo de Quioto, a troca de combustíveis fósseis de maior capacidade de emissão de gases do efeito estufa, por outro menos poluente é considerado um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, pois promove a substituição da matéria prima com objetivo de reduzir os impactos ambientais resultantes da atividade industrial.

As indústrias siderúrgicas e de papel celulose da Região do Vale do Aço-MG, constituem um dos grandes pilares da indústria no Estado de Minas Gerais e no cenário brasileiro. A utilização do gás natural por este setor industrial em substituição ao óleo combustível, óleo diesel e GLP, permitiu a mitigação das emissões de GEE, obtendo-se uma redução de cerca de 32% nas emissões de CO₂ para a atmosfera, demonstrando que o gás natural se apresenta como uma alternativa para mitigar as emissões de CO₂ provocadas pelas indústrias siderúrgicas e de papel celulose.

Ressalta-se que todos os combustíveis fósseis impactam o meio ambiente emitindo GEE, e que uma das premissas mais favoráveis para a redução das emissões de GEE é a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Porém através dos resultados obtidos é possível considerar a utilização do gás natural, cuja utilização permitiu reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo processo industrial das indústrias siderúrgicas e de papel celulose, sendo, portanto, uma alternativa importante para mitigação das emissões dos gases do efeito estufa, enquanto ainda não se pode escusar completamente da utilização dos combustíveis fósseis.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- As emissões quantificadas de CO₂ no período de 2010 a 2014 calculadas pela metodologia proposta por esse trabalho foram de cerca de 2,9 milhões de toneladas de CO₂ decorrentes da utilização do gás natural, enquanto as obtidas caso fossem utilizados os combustíveis fósseis utilizados anteriormente foram de cerca de 4,3 milhões de toneladas de CO₂.
- As emissões evitadas obtidas de dióxido de carbono foram de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas no período de 2010 a 2014, representando uma redução significativa de 32% nas emissões de CO₂ liberadas para o meio ambiente.
- A partir da inserção do gás natural nas matrizes energéticas das indústrias da Região do Vale do Aço-MG obteve-se um ganho ambiental, demonstrando que o gás natural pode ser utilizado para mitigar a emissões de gases do efeito estufa, podendo contribuir para redução da concentração de GEE na atmosfera e amenizar os efeitos da mudança climática no planeta, assim como é certo que dentre as alternativas consideradas neste trabalho, óleo combustível, óleo diesel e GLP, aquela que gera menos impacto de emissões de GEE ao meio ambiente é o gás natural.

7 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

O aquecimento global oriundo do aumento de emissões dos gases do efeito estufa é inequívoco, como está agora evidente nas observações dos aumentos das temperaturas médias globais, do derretimento generalizado das calotas polares e da elevação do nível médio do oceano.

Mitigar as emissões de GEE a fim de garantir a sustentabilidade do setor industrial com o objetivo de minimizar futuros impactos com o aquecimento global, se apresenta como uma alternativa mais viável e menos traumática, no qual é melhor prevenir do que remediar no futuro os danos já estabelecidos.

Diante disto, o trabalho contribui para demonstrar que o gás natural pode ser utilizado para mitigar as emissões de gases do efeito estufa, por conseguinte, a expansão de seu uso como alternativa a combustíveis fósseis mais poluentes contribuirá para redução da quantidade de dióxido de carbono CO₂ na atmosfera e melhoria da qualidade do meio ambiente.

Considerando líquidas as emissões de CO₂ evitadas, esta quantia no Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia de créditos de carbono, poderia ser negociado a cerca de US\$ 11 milhões, valores atuais para o crédito de carbono.

Pode-se ter como recomendações para trabalhos futuros, estendesse a análise dos benefícios ambientais do uso do gás natural para todo o Estado de Minas Gerais, assim como mensurar os benefícios ambientais decorrentes das reduções de emissões de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico 2014**. Disponível em: <http://anp.gov.br/?pg=71976&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1410549069865>. Acesso em: 02 mar. 2015.

ALMEIDA, E. F.; FERRARO, M. C. **Indústria do Gás Natural: Fundamentos Técnicos e Econômicos**. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental. 4 ed.** Porto Alegre: Bookman, 4 ed. 844 p., 2011.

BARKER, T; EKIS, P.; JOHNSTONE, N. **Introduction. In:GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE PROGRAMME**. Global Warming and Energy Demand. London: Routledge, 1995.

BEN. (2010) **Balço Energético Nacional 2010**. Ministério de Minas e Energia. Brasília. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf. Acesso em: 23 mar. 2015.

BEN. (2014) **Balço Energético Nacional 2014**. Ministério de Minas e Energia. Brasília. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf. Acesso em: 23 mar. 2015.

BEN. (2015) **Balço Energético Nacional 2015**. Ministério de Minas e Energia. Brasília. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf. Acesso em: 11 ago. 2015.

BNDES. **Efeito estufa e a Convenção sobre Mudanças Climáticas, 1999**. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/especial/clima.pdf. Acesso em: 20 fev. 2015.

BRAGA, Y. C. P.; ALMEIDA, E. F. **Potencial de Demanda para o Gás Natural: Uma Modelagem Regional**; Rio Oil & Gas Expo and Conference, 2014.

BRASIL. MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa** – Relatórios de Referência: Emissões de Dióxido de Carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down. Brasília: MCT, 2006. Disponível em:

http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8812.pdf.

Acesso em: 26 abr. 2015.

BRITISH PETROLEUM GLOBAL. **BP Statistical Review Of World Energy 2014**. Disponível em:

<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-ofWorld-energy-2014-full-report.pdf>.

Acesso em: 24 fev. 2015.

BRITISH PETROLEUM GLOBAL. **BP Statistical Review Of World Energy 2015**. Disponível em:

<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/natural-gas-review-by-energy-type.html>.

Acesso em: 12 ago. 2015.

CAIT- **Climate Analysis Indicators Too**. Disponível em: <http://cait.wri.org/>. Acesso em: 02 de mai. de 2015.

CANADELL, J. G.; QUÉRÉ, C. L.; RAUPACH, M. R.; FIELD, C. B.; BUITENHUIS, E. T.; CIAIS, P.; CONWAY, T. J.; GILLET, N. P.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, G. **Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks**. Nat. Acad. Sci. USA, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 10.1073/pnas.070273104, 2007.

COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS. **Relatório da Administração 2014**. Disponível em:

<http://www.gasmig.com.br/Institucional/BalancoAnual.aspx>.

Acesso em: 20 mar. 2015.

COSTA, A. Mudança Climática e Aquecimento Global. Avanços Tecnológico no Monitoramento. Disponível em:

<http://www.ecodebate.com.br/2015/mudanca-climatica-e-aquecimento-global-avancos-tecnologico-no-monitoramento>.

Acesso em: 13 ago. 2015.

GLOBAL LOBAL ANALYSIS- June 2015; Temperature Anomalies Time Series. Disponível em:

<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201506>.

Acesso em: 15 ago. 2015.

GOMES, I. C. Uma análise do mercado e do preço competitivo de gás natural em São Paulo. Dissertação (Mestrado em Energia) - São Paulo: USP, 1996.

HOPPE, L.; ALVIM, A. M.; KETZER, J. M. M.; SOUZA, O. T. Desenvolvimento Sustentável e o Protocolo de Quioto: Uma Abordagem Histórica do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gás Inventories - The Reference Manual – Volume 3 – Energy. p 81-94. 1996. Disponível em:

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref5.pdf>.

Acesso em: 14 mai. 2015.

IPCC. Climate Change 2014, Assessment Report (AR5).

Disponível em:

https://ipcc-g2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf

Acesso em: 06 mai. 2015.

LAUREANO, F. H. G. C. A Indústria de Gás Natural no Brasil e a Viabilização de seu Desenvolvimento. Rio de Janeiro: IE/UFRJ, 2002.

MAGRINI, A.; VEIGA, L. B. E.; BARBOSA, F. L. Análise do Processo de Licenciamento Ambiental no Estado do Rio de Janeiro e Análise Comparativa com os Modelos adotados nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Sul. Síntese Executiva. Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ, 2005.

MATHIAS, M. C. P. P. **A Formação da Indústria Global de Gás Natural: Definição, Condicionantes e Desafios.** Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2008.

MONTEIRO, J. F.; SILVA, J. R. N. **Gás Natural: Aplicado à Indústria e ao Grande Comércio.** São Paulo: Blucher, 2010.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010c. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa:** Anexo I: Adequação da Metodologia do IPCC para o Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis - Abordagem bottom-up. Versão para consulta pública. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/>. Acesso em: 26 jan. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2014.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese2014.aspx>. Acesso em: 05 abr. 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pdee/forms/epeestudo.aspx>. Acesso em: 05 abr. 2015.

MONTEIRO, S. **O gás natural combustível.** São Paulo. Comgás, 1998.

MOREIRA O. C. L.; **Comparação Entre os Poluentes Atmosféricos e Ruídos Emitidos por uma Caldeira Flamotubular Movid a Gás Natural e a Óleo Combustível Bpf 2^a.** Dissertação Universidade Federal do Mato Grosso de Sul, 2007.

NOBRE, P. **Aquecimento Global, oceanos e sociedade.** Interfacehs: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, São Paulo, v. 3, n. 1, jan/abr. 2008. Disponível em: <http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/BR/artigos.asp>. Acesso em: 25 abr. 2015.

PINHEIRO, F. C. **Mudança Global do Clima: ciência e políticas públicas**. Revista Ciência Moleculares, nº 2. Dezembro de 2005. Disponível em:

http://revista.cecm.usp.br/arquivo/2005dez/artigos/mudancas_climaticas_proposed_scenarios.

Acesso em: 26 jan. 2015.

PROTOCOLO DE KYOTO. Disponível em: www.greenpeace.org.br/clima/pdf/protocolo_kyoto.pdf.

Acesso em: 03 mai. 2015.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Manole, 2. ed, 2005.

RODRIGUES, P.; **Aquecimento Global é recorde e El Niño mais forte provoca seca no NE e enchentes no Sul**, Disponível em:

<http://www.arenadopavini.com.br/artigos/noticias-do-dia-arena-especial/aquecimento-global-deixa-planeta-153o-c-mais-quente>.

Acesso em: 12 ago. 2015.

ROCHA, M. S.; PAIANO, D. B. **O Protocolo de Quioto e a Nova Proposta para Quioto**, CONPEDI, 2009.

RUTHEFORD, I. Use of models to link indicators of Sustainable Development. In: MOLDAN, B. B., S. (eds.) **Sustainability indicators: report f the project on indicators of sustainable development**. Chichester: John Wiley & Sons, 1997.

SILVA, I. M. **Gás natural: a sua utilização na geração de energia elétrica no Brasil**; Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, 2010.

SISTER, G. **Mercado de Carbono e Protocolo de Quioto**. Campus Jurídico, 2007. Disponível em:

<http://www.ambito-juridico.com.br/pdfsGerados/artigos/10091.pdf>.

Acesso em: 10 mai. 2015.

STERN, N. S. **Review Report on the Economics of Climate Change**. 2006. Disponível em:
http://www.http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf. Acesso em: 10 abr. 2015.

VIEIRA, P. L. **Gás Natural Benefícios Ambientais no Estado da Bahia**. Salvador: Solisluna; Bahiagás Documenta, 132p, 2005.

WORLD BANK. (1998) **Climate Change Debate Heats up in Kyoto**. Disponível em:
<http://www.worldbank.org/html/extdr/extcs/w120497e.htm#kyoto>. Acesso em: 13 mai. 2015.

WORLD BANK. (2014) **Climate Change Debate Heats up in Kyoto**. . Disponível em:
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20595>. Acesso em: 22 ago. 2015.

APÊNDICE A – Formulário de Entrevista para Consumidores Industriais

Entrevista com consumidores industriais

Objetivo

Entrevista para fins de pesquisa para obtenção do título de MESTRE PROFISSIONAL em Engenharia Ambiental.

Apresentação

Meu nome é Alexandre José de Souza Silva, estou redigindo uma dissertação para obtenção do título de MESTRE PROFISSIONAL em Engenharia Ambiental. A proposta da minha dissertação é analisar a mitigação de impactos ambientais na Região do Vale do Aço-MG, através da utilização do gás natural, e como o setor industrial da região é considerado o mais importante para a distribuição do gás natural, devido à grande participação no volume total consumido no Estado. Solicito a gentileza de responder as questões abaixo, que irão subsidiar e dar mais credibilidade a pesquisa.

O respondente não será identificado na dissertação, e as questões poderão ser deixadas em branco caso não seja possível responder por qualquer motivo.

Gostaria de agradecer desde já pela atenção e disponibilidade para responder as questões.

- 1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?
- 2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?
- 3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?
- 4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?
- 5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?
- 6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

APÊNDICE B – Respostas dos Consumidores Industriais**Entrevistado 01**

1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?

Fio máquina.

2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?

Sinterização, alto forno, aciaria, laminação.

3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?

GLP.

4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?

Segurança e facilidade operacional.

5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?

A eficiência de queima varia com os equipamentos em que o combustível está sendo aplicado, pelos dados técnico do processo a eficiência com a utilização do GLP ficava entre 90 e 92% e a obtida com o gás natural tem apresentado resultados entre 94% e 96%.

6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

Não foram encontradas desvantagens.

Entrevistado 02

1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?

Celulose de fibra curta de eucalipto.

2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?

Processo de Calcinação nos Fornos de Cal (transformação do Carbonato de Cálcio em Óxido de Cálcio, com liberação de Gás Carbônico).

Sinterização, alto forno, aciaria, laminação.

3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?

O combustível predominante nos fornos era o óleo combustível.

4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?

Estabilidade do processo e melhor controle da chama, fato que evita exposições excessivas dos tijolos refratários às chamas do queimador.

5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?

As eficiências médias registradas nos livros de processo para o óleo combustível é de 83%, e a do gás natural gira entorno de 95%.

6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

A princípio não foram observadas desvantagens em relação ao processo de calcinação.

Entrevistado 03

1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?

Coque, sinter, gusa, aço líquido, chapas grossas, tiras a quente, laminados a frio, eletrogalvanizados e galvanizados por imersão a quente.

2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?

Linha de degaseificação a vácuo (aciaria), lingotamento contínuo, escarrafagem de placas, pátio de manuseio de placas e sucatas, fornos de reaquecimento de placas, fornos de recozimento de bobinas e plantas de regeneração de HCl. O gás natural pode ser utilizado também nos Altos-fornos Sinterização, alto forno, aciaria, laminação.

3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?

O gás natural é classificado internamente como combustível complementar uma vez que a maior parte da energia necessária para a empresa vem de gases combustíveis gerados no processo produtivo. Antes da disponibilização do gás natural o combustível complementar utilizado era o Óleo Combustível.

4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?

Redução das emissões de poluentes atmosféricos (material particulado e enxofre) e redução de atividades de manutenção em redes por se tratar de um gás mais limpo que os demais combustíveis utilizados.

5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?

O processo de combustão antes da disponibilização do gás natural apresentava eficiência de 86%, com a regulagem realizada para o fornecimento do gás natural foi obtida uma eficiência de 94%.

6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

Sim. Foram observadas desvantagens em relação às condições comerciais. A utilização de gás natural exige o envio de programação diária de consumo com a concessionária sob pena de pagamento de multa por retirada de quantidade a

menor ou a maior que o previsto. A programação diária engessa muito a prática operacional que é muita dinâmica ao longo do dia. Tal fato pode onerar o custo final do produto, caso penalidades sejam pagas à concessionária.

Entrevistado 04

1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?

Placas, blocos, tarugos, bobinas a quente, perfis e fio-máquina em todas as aplicações que requerem acoplamento de tubos de aço sem costura.

2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?

Uso constante: Corte de produtos nos processos de lingotamento, acabamento e preparação de sucatas.

Uso esporádico: Em situações de falta de gases de processo utilizamos também nos fornos de reaquecimento e caldeiras.

3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?

Era utilizado o GLP

4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?

Não foram necessárias modificações nas instalações, apenas nos bicos de corte dos maçaricos.

5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?

Controle interno de processo.

6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

Não foram observadas desvantagens.

Entrevistado 05

1) Quais são os principais produtos fabricados na empresa?

Produz a pelota a partir do minério de ferro numa Planta de Pelotização. A Pelota alimenta um Alto Forno. O gusa produzido no Alto Forno é carregado juntamente com sucata na Aciaria para a produção de aço. As barras redondas são reaquecidas no Forno Rotativo e depois laminadas em Tubos sem costura de até 14" de diâmetro. OS produtos tubulares petrolíferos OCTG (Oil Country Tubular Goods) sem costura são empregados na perfuração, no revestimento de poços (casing) e tubos para condução de petróleo e gás. Os tubos em aços carbono e em aços baixa liga, são altamente resistentes às diversas condições de temperatura e pressão. Os tubos para extração de petróleo e revestimento de poços são produzidos conforme especificações API 5CT. São produtos de alta tecnologia utilizados em todas as aplicações que requerem acoplamento de tubos de aço sem costura.

2) Em quais processos a empresa utiliza o gás natural?

O gás natural é utilizado:

- no forno grelha e forno rotativo na Planta de Pelotização;
- nos aquecedores de panela de gusa do Alto Forno;
- no forno elétrico a arco, oxicorte de barra e sucata e aquecedores de panela de aço na Aciaria;
- no forno de reaquecimento de barra redonda na Laminação;
- nos fornos de austenitização e revenimento da tempera.

3) Esta empresa já possui uma longa história de produção no Estado de Minas Gerais. Antes da disponibilização do fornecimento de gás natural pela GASMIG, qual era(m) o combustível utilizado nos processos da empresa?

Gás de alto forno e óleo diesel.

O gás de alto forno ainda é utilizado

4) Quais vantagens foram observadas a partir da conversão dos equipamentos para utilização do gás natural em relação aos combustíveis utilizados até então?

Queima mais limpa.

5) Quais as eficiências obtidas no processo de combustão, com a utilização do combustível anterior e atualmente com o Gás Natural?

O gás natural tem apresentado uma melhor eficiência de queima próxima de 97%, anteriormente o máximo obtido era 88%.

6) Foram observadas desvantagens com a utilização do gás natural em relação aos demais combustíveis? Se sim, quais foram?

Nenhuma.